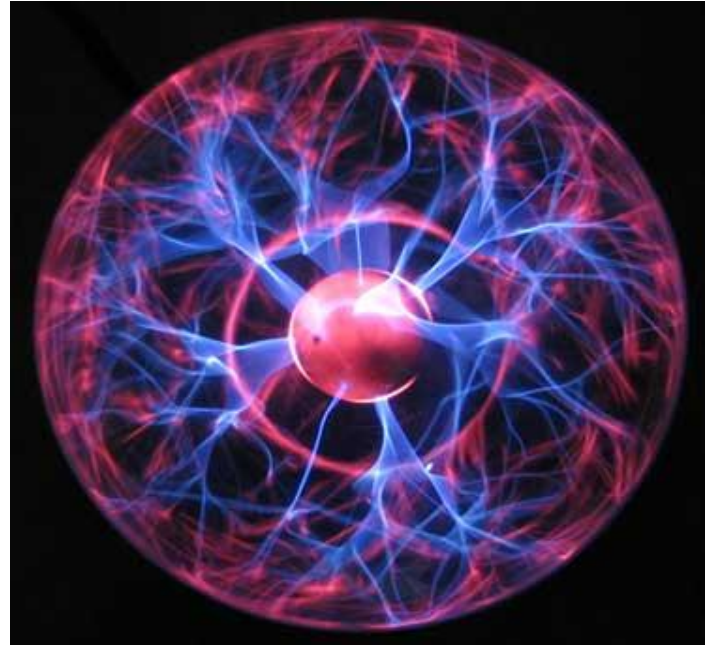
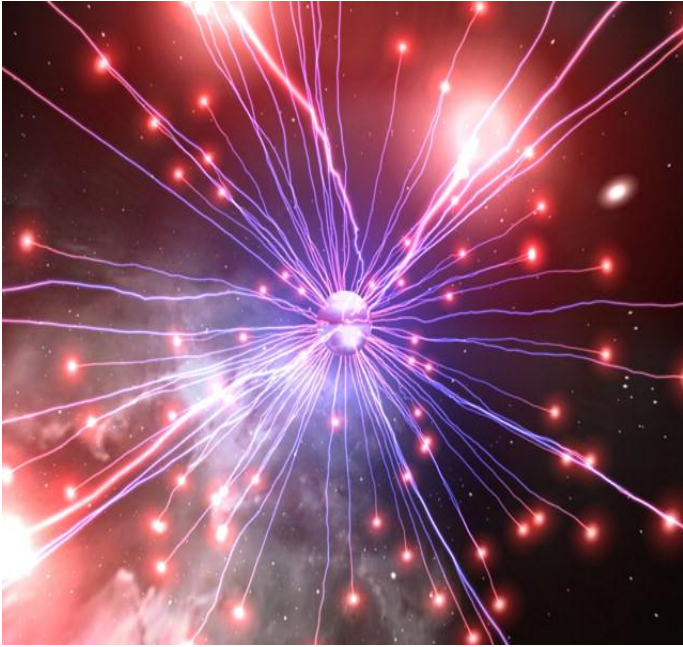


Plasma physics فيزياء البلازما

المصادر:

1. Introduction to plasma physics by Thomson
2. Introduction to plasma physics by Chen
3. Plasma physics by Keen
4. فيزياء البلازما د. عاصم عبد الكريم
5. اساسيات في فيزياء البلازما د. بهاءحسين صالح



## الفصل الاول (مقدمة عن البلازما)

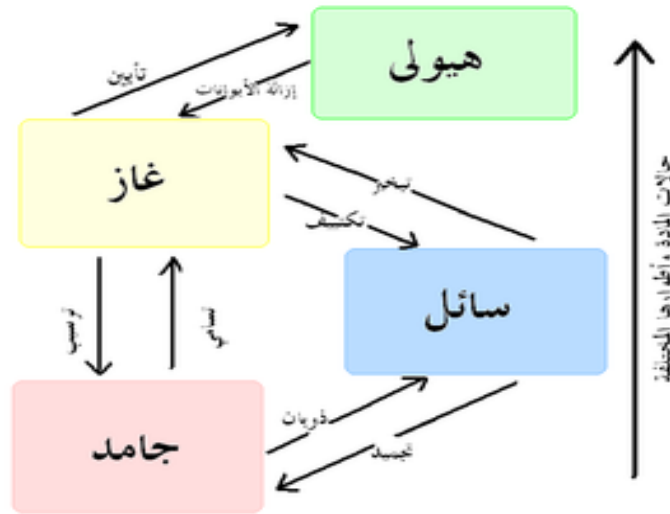
## 1. مقدمة

البلازما هي كلمة ذات اصل اغريقي وتعني لغويًا المادة الجلاطينية. وباللغة اليونانية ( $\alpha\mu\sigma\alpha\lambda\pi$ ) فيعني اصلا شئى مكون وفق نظام معين.

توجد المادة عادة بثلاث حالات وهي الحالة الصلبة والسائلة والغازية وعن طريق احداث تغيير في درجة حرارة المادة يمكن احداث تغيير في حالة المادة. عموماً في جميع حالات المادة تكون ذرات وجزئيات المادة متعادلة كهربائياً اي ان صافي الشحنة يساوي صفر، وهذه الصفة تكون متحققة حتى اثناء عملية تحول المادة من حالة الى اخرى. في حالة البلازما فان خاصية التعادل الكهربائي لذرات وجزئيات المادة تختل، ويرتبط مفهوم البلازما عادة بحالة التاين للمادة التي تشكل 99% من المادة الكلية للكون لذا فان حالة البلازما تشكل اكثر حالات المادة شيوعاً في الكون حيث ان الشمس والنجوم تعتبر كتل كبيرة من البلازما الساخنة، وبعض الكواكب تشكل البلازما أغلب مادتها، حيث يعتبر كوكب المشتري كتلة هائلة من البلازما، حيث اننا نعيش بـ 1% من الكون وهو الجزء الذي لايتكون فيه حالة البلازما.

ان حالة البلازما تطلق على المادة اثناء وجودها بدرجة عالية من التاين اي عندما تكون نسبة عالية من ذرات المادة موجودة بشكل ايونات موجبة مع الكترولونات سالبة منفصلة عنها.

وان الصفة التي تميز الحالات واحدة عن الاخرى هي قوة ربط الاواصر بين الدقائق المكونة للمادة حيث تكون قوية جداً في الحالة الصلبة وضعيفة في الحالة السائلة وشبه معدومة في الحالة الغازية ومعدومة تقريبا في حالة البلازما، ومن الممكن ان تتحول المادة من حالتها الى حالة اخرى لذلك تعتبر طورية، اما بالنسبة للبلازما تحدث تدريجياً بازدياد درجة الحرارة للمادة الغازية وان تحولها من حالة غازية الى حالة البلازما هو تحول غير طوري كما في الشكل رقم (1):







الشكل (1): التحولات الطورية للمادة.

ان عملية التحول تتم عن طريق اكساب الغاز طاقة (عن طريق تسخينه او عن طريق امرار تيار كهربائي مرتفع او ضوء ليزر كثيف من خلاله) حيث ان بعض الذرات تكتسب طاقة كافية لتحرير الكترون سالب الشحنة ليصبح ذو شحنة كهربائية موجبة.

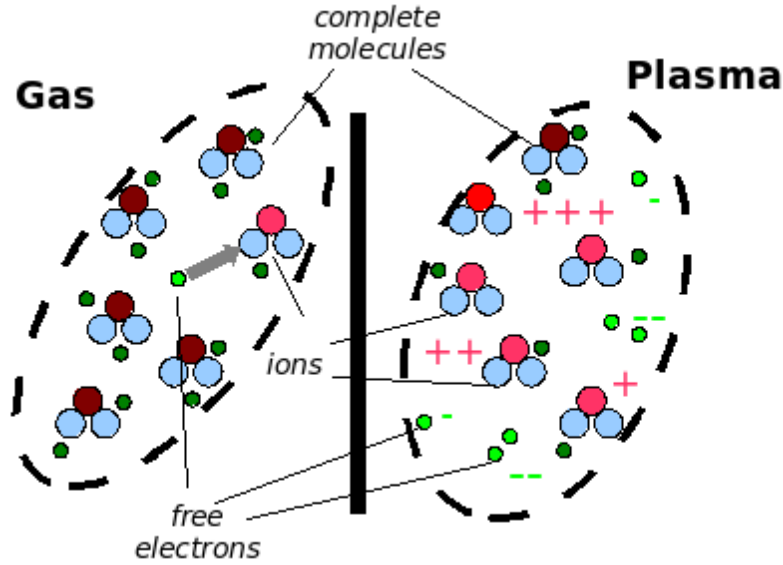
ان الذرة في حالتها المستقرة لاتصدر اي اشعاع ولكن عند اثارها تبقى في حالتها الاخيرة لمدة 8-10 sec كما ويمكن ان تتحول الذرة الى ايون (ion) باقتلاع الكترون او اكثر من الكتروناتها. وبفقدان الذرة لجميع الكتروناتها فانها تستطيع ان تتحرك بحرية مع نوى الذرات دون اي ارتباط بها فعند هذه الحالة تكون المادة قد تحولت الى بلازما.

وعلى سبيل المثال عند دراسة تحول الماء في الحالات الاربعة اعتمادا على درجة الحرارة وصولاً الى حالة البلازما كما في الشكل رقم (2) :

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example <b>Ice</b> $H_2O$	Example <b>Water</b> $H_2O$	Example <b>Steam</b> $H_2O$	Example <b>Ionized Gas</b> $H_2 \rightarrow H^+ + H^+ + 2e^-$
<b>Cold</b> $T < 0^\circ C$	<b>Warm</b> $0 < T < 100^\circ C$	<b>Hot</b> $T > 100^\circ C$	<b>Hotter</b> $T > 100,000^\circ C$ I > 10 electron Volts
			
<b>Molecules Fixed in Lattice</b>	<b>Molecules Free to Move</b>	<b>Molecules Free to Move, Large Spacing</b>	<b>Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing</b>

شكل (2): الحالات الاربعة للمادة حسب درجات الحرارة

عليه يمكن تمييز المادة بحالتها الغازية عنها بحالة البلازما بالشكل التالي:



شكل (3): الفرق بين الغاز والبلازما

### تعريف البلازما

تعرف البلازما بانها حالة وجود شحنات اوتركيز الشحنات السالبة والموجبة لوحدة الحجم في حالة متساوية تقريباً ومتعادلة كهربائياً.

Plasma: is a quasineutral gas of charged and neutral partial which exhibits collective behavior

وقد توجد البلازما من حيث المفهوم بشكل:

1. غاز متأين
2. الحالة الصلبة: كما في اشباه الموصلات حيث توجد الشحنات الموجبة المتمثلة بالفجوات والشحنات السالبة المتمثلة بالالكترونات الحرة الحركة.
3. الحالة السائلة: كما في المحلول الالكتروليتي او في ملح منصهر.

ان ابسط الانواع لدراسة البلازما من الناحيتين العلمية والنظرية هي عندما تكون المادة في الحالة الغازية وذلك لاهميتها الكبيرة ولانها تمثل الحالة الاوسع من حالات المادة.

**2. وجود البلازما في الطبيعة**

معظم المادة الكونية الموجودة في النجوم تكون في درجات حرارة عالية جداً الى الحد الذي تصبح فيه الطاقة الحركية لذرات المادة كافية لحدوث تأين لهذه الذرات عند عمليات التصادم المتكررة بالاضافة الى تجهيز طاقة حركية فائضة للايونات تكفي للتغلب على التنافر الكهروستاتيكي بين الايونات الموجبة مما يؤدي الى حدوث تفاعلات اندماج نووي تقوم بدورها بتوليد كميات كبيرة جداً من الطاقة وتعتبر هذه العملية هي الاساس في تولد الطاقة في الكون.

اما على سطح الارض فان عملية تاين جزيئات الهواء المحيط بالكرة الارضية والنتاج عن سقوط الاشعة فوق البنفسجية على الطبقة الهوائية المحيطة بالارض.

وفي الحالات الاعتيادية يجب توفير درجات حرارة عالية لحدوث التأين لذا يتم انتاج البلازما بمختبرات خاصة. فطاقة التأين تكون بحدود بضع وحدات الكترون فولت (eV) لذا يجب ان تكون درجة الحرارة كافية لحدوث التأين اي مساوية لجهد التأين لذا فان درجة حرارة العتبة تقع بين  $10^3-10^5 K^0$  وقد تصل الى عدة ملايين كلفن.

المصابيح الكهربائية المتفلورة والزئبقية او الهالوجينية مثال على البلازما كغازمتأين لكنها تتضمن تأين جزئي لان البلازما هنا تتعرض لعملية تبريد مستمرة وسريعة من خلال اصطدام الالكترونات والايونات بجدار المصباح البارد.

ان وجود البلازما في درجات حرارية عالية يضع قيوداً على مسألة احتواء البلازما فلا يوجد وعاء مادي يحتمل درجة حرارة البلازما، لكن تحفظ البلازما ضمن مجالات مغناطيسية بحيث لايسمح للبلازما ان تلامس الجدران المادية للوعاء.

**3. اشكال البلازما:**

ان اشكال البلازما تتضمن :

**1- بلازما تصدر عن اجهزة صناعية:**

- شاشات البلازما.
- مصابيح التألّق (الفلوريسن ذات الطاقة الضعيفة).
- عوادم الصواريخ.
- لحام القوس الكهربائي.
- مصابيح البلازما (كرة البلازما).
- لحفر رقائق الحاسوب لانتاج اشباه الموصلات.

## 2- بلازما طبيعية ارضية:

- البرق وكرة البرق.
- طبقة الغلاف المتأين.
- الشفق القطبي.

## 3- بلازما طبيعية كونية فلكية وفضاء كوني:

- النجوم.
- الرياح الشمسية.
- الفراغ المحيط بين النجوم والكواكب.
- حلقة احد اقمار المشتري.
- الاقراص الناشئة من تكوين الاجسام النجمية الضخمة.

## 4. أهمية دراسة البلازما:

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

- 1 . ان البلازما موصلاً جيداً للتيار الكهربائي ومصدراً للضوء.
- 2 . ان البلازما هي الحالة الاكثر سعة في عالم منظومتنا الشمسية عند درجات الحرارة العالية.
- 3 . تعد البلازما نظاماً ديناميكياً تتحكم به القوى الكهرومغناطيسية.
- 4 . تستخدم البلازما في التطبيقات الصناعية المتعددة.
- 5 . تعالج مشاكل تقنية مهمة مثل المشاكل التي تجابه بناء مفاعلات الاندماج النووي.

**5. أنواع البلازما:**

تصنف البلازما وفقاً للدرجات الحرارية الى :

**1 . البلازما الباردة (Cold plasma)**

هي غالباً ماتكون متأينة جزئياً (ضعيفة التأين) تتراوح درجة حرارتها بين مئات الى عدة الاف من الدرجات المئوية وبطاقة حركية مقدارها (1eV) ويطلق عليها اسم التفريغ في الغازات وهي النوع المستخدم في اغلب البحوث العلمية.

**2 . البلازما الساخنة (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 (Tokomak) وتتراوح درجة حرارتها بين مئات الى عدة ملايين من الدرجات الحرارية، وبطاقة حركية بحدود (10eV).

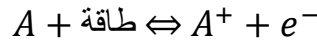
**6. الخصائص العامة للبلازما**

1. البلازما على الاغلب تكون غير متجانسة (درجة الحرارة، التركيز، المجال المغناطيسي).
2. البلازما غالباً ما تكون متباينة الخواص اي ان خواصها تعتمد على الاتجاه.
3. البلازما مبددة اي ان الطاقة الميكانيكية او الكهرومغناطيسية ممكن ان تتحول الى حرارة.
4. البلازما موصلة للكهربائية حيث يظهرحت فارادي عند تحرك البلازما.
5. البلازما لزجة اي ان الطاقة الميكانيكية تتبدد الى الحرارة وتظهر طبقات بين اطراف البلازما.
6. البلازما موصلة للحرارة بحيث يمكن نقل الحرارة من خلال البلازما الى جسم اخر.
7. البلازما شفافة وغير شفافة للموجات الراديوية اعتمادا على الطول الموجي.
8. البلازما ذات نفاذية مغناطيسية ضعيفة لذلك البلازما تعمل على اضعاف المجال المغناطيسي.
9. قد تكون في حالة توازن ميكانيكي عند احتوائها بمرآة مغناطيسية (عندها لاتكون في حالة توازن ثرموديناميكي).

## 7. معادلة ساها Saha Equation

في كل غاز متأين تتراوح نسبة التأين ما بين الصفر والواحد وتعتمد هذه النسبة بشكل مباشر على مقدار الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئات الغاز أو يمكن القول تعتمد بشكل مباشر على درجة حرارة الغاز. أن الغاز في حالة تأين جزء منه سيكون عبارة عن نظام مكون من الذرات المتعادلة والأيونات الموجبة والألكترونات وتحديد نسبة كل من هذه المكونات يحدد درجة تأين الغاز. العالم ساها (1920) استخدم طريقة لحساب درجة تأين أي غاز.

أعتبر ساها عملية التأين عملية عكسية اي أنه في نفس الوقت الذي يتم فيه خلق أيونات والكترونات جديدة داخل الغاز فإن هناك أيونات اخرى تقوم بالأتحاد مع الألكترونات لتكوين ذرات متعادلة وبشكل مشابه تماماً لما يحدث في حالة تفاعل كيميائي عكسي، أي بالصورة التالية :



وهذا الافتراض يعني أهمل حالات التهيج للذرات حيث تم اعتبار الحالات الموجودة على أنها حالتان فقط وهما حالة الذرة المتعادلة وحالة الأيون.

وصيغة معادلة ساها في حالة التوازن الحراري (Thermal equilibrium) والتي تمثل نسبة التأين المتوقعة في الغازات هي :

$$\frac{n_i}{n_n} \cong 2.4 \times 10^{15} \frac{T^{3/2}}{n_i} e^{-u_i/KT}$$

حيث :

$n_i$  : تركيز الذرات المتأينة (الأيونات) ( $\text{cm}^{-3}$ ).

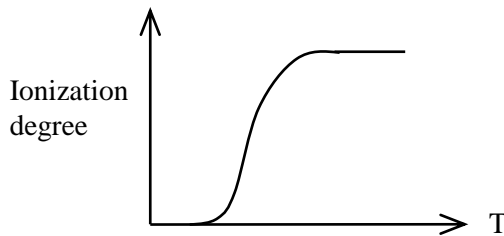
$n_n$  : تركيز الذرات المتعادلة.

$T$  : درجة الحرارة المطلقة ( $\text{K}^\circ$ ).

$K$  : ثابت بولتزمان.

$u_i$  : طاقة تأين الغاز (جهد التأين).

ويمكن تمثيل معادلة ساها بالعلاقة التالية :





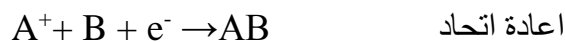
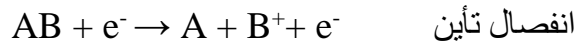
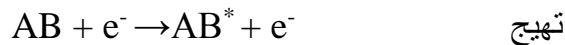
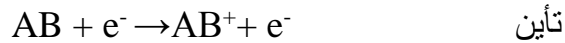
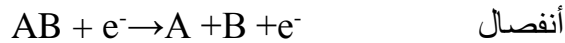
معادلة ساها فيزيائياً تعني ان ذرات الغاز ( $n_n$ ) تمتلك طاقات حرارية منفصلة وعندما تكون هذه الطاقات واطنة فان التصادمات الطاقية (Energetic collision) سوف تكون نادرة الحدوث لان الذرة يجب ان تكون معجلة لطاقة اعلى من معدل طاقة التأين بوساطة التصادمات، اما عندما تكون الطاقات الحرارية عالية فان الذرة تتأين عندما تعاني من التصادم مع الالكترون بطاقة عالية.

اما بالنسبة للجزء الاسي ( $e^{-u_i/KT}$ ) فانه يبين ان عدد الذرات ذات السرعة العالية يهبط أسياً مع المقدار ( $u_i/KT$ ) وان الذرة التي تكون متأينة ستبقى مشحونة حتى تلاقي الالكترونات وتعيد اتحادها معها لتصبح متعادلة مرة اخرى، ان معدل اعادة الاتحاد (Recombination rate) يكون معتمداً على كثافة الالكترونات والتي يمكن جعلها مساوية لـ  $n_i$  لذلك فان تعادل كثافة الايون سوف يقل مع  $n_i$ . وعليه فان معادلة ساها توضح انه بارتفاع درجة حرارة الغاز تزداد كثافة الجسيمات المتأينة وبعد ان تتجاوز درجة الحرارة لطاقة التأين تسمى في هذه الحالة البلازما وقد تكون البلازما ضعيفة او جزئية او كاملة التأين اعتماداً على  $n_i$  (كثافة الجسيمات المتأينة).

وتكون البلازما متأينة عندما  $n_i > n_n$  حيث تكون نسبة التأين اكبر من  $10^{-4}$ ، لكنها تكون ضعيفة التأين عندما  $n_i < n_n$  حيث تكون نسبة التأين اقل من  $10^{-4}$ .

ففي درجة حرارة الغرفة تكون نسبة التأين منخفضة جداً وهذا مايفسر صعوبة الحصول على بلازما كاملة التأين في المختبر.

وتوليد البلازما مختبرياً نقوم بتسليط فرق جهد على غاز تحت ضغط معين بحيث تكون الطاقة كافية لاثارة ذرات الغاز عند زيادة الطاقة يزداد تهيج الجسيمات الذرية والجزئية ويحصل انفصال لجزئية الغاز فيؤدي الى حدوث تأين ولكي تبقى البلازما في حالة شبة الاستقرار تحدث عمليات اعادة الاتحاد بين الجسيمات المشحونة والمتعادلة بحيث تكون ازواج ايون-الالكترون بشكل مستمر والتي تتكون بواسطة عمليات اعادة الاتحاد والانفصال وعمليات التأين وكما موضح في المعادلات الاتية :



## 8. معاملات البلازما Plasma Parameters

## a. درجة الحرارة

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

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2}KT$$

ولكون  $T$  و  $\langle E \rangle$  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  $KT=1.6 \times 10^{-19}$  فيكون لدينا:

$$T = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23}} = 11600K^o$$

$$1eV = 11600K^o$$

عليه

من المفيد ان نشير ان بلازما معينة يمكن ان تمتلك عدة درجات حرارة في نفس الوقت، وغالبا ماتمتلك الالكترونات والايونات توزيعين مختلفين لدرجتي حرارة مختلفتين  $T_e$  و  $T_i$  وهذا ممكن لان تكراراتصادمات الايونات فيما بينها او بين الالكترونات فيما بينها، ممكن ان تكون اكبر من تكراراتصادمات 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

## b. تردد البلازما Plasma Oscillation

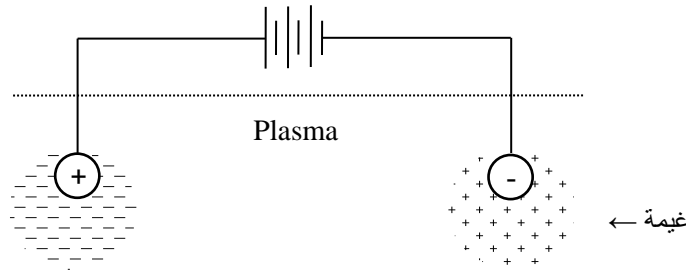
أن وجود الألكترونات ضمن المجالات الكهروستاتيكية للأيونات الموجبة في البلازما سوف يفترض بعض التحديدات على حركة سيل من الألكترونات والأيونات. فلا بد من حدوث اهتزازات في البلازما نتيجة لوجود القوى الكهروستاتيكية العاملة بين الشحنات الموجبة والسالبة والتي تحاول إعادة البلازما الى وضع الاستقرار عند التأثير بأي مؤثر يحاول الأخلال بهذا الأستقرار . فعند تصادم الجسيمات المشحونة مع الذرات المتعادلة عندها تتسبب الأخيرة بتذبذب الجسيمات المشحونة بتردد معين يعتمد على القوى الهيدروديناميكية والكهرومغناطيسية الموجودة. وهذا التردد يعطي بالعلاقة:

$$W_P = \left( \frac{n_i e^2}{\epsilon_0 m} \right)^{1/2}$$

وهذا التردد يعطي في أغلب الأحيان للألكترونات لأن تردد الأيونات الموجبة يكون قليل مقارنة بتردد الالكترونات كون كتلتها تكون كبيرة مقارنة بكتلة الألكترونات.

### c. حجب ديبياي Debye Shielding

أن البلازما المتعادلة من خلال تساوي عدد الأيونات الموجبة والسالبة هي ليست بالضرورة خالية من المجالات الكهربائية الموضعية داخل البلازما والنتيجة عن تواجد الأيونات والالكترونات. أن لهذه المجالات الموضعية مديات أقل بكثير من مدى جهد كولوم للشحنات المستقرة والذي يكون لانتهائي. فلمعرفة المدى المؤثر للجهد الكهربائي للشحنة داخل البلازما نفترض وضع مجال كهربائي داخل البلازما من خلال وضع كرتين مشحونتين مربوطتين ببطارية.



أن كل كرة من الكرات المشحونة سوف تتسبب في تفريق الشحنات المشابهة لها في منطقة المجال المحيط بها في حين تتجاذب مع الشحنات المعاكسة لها. وهذا الفصل في الشحنات سوف يؤدي الى تغيير شكل المجال في البلازما. فان احد المميزات الاساسية في توليد البلازما هي مقدرتها على اختزان او حجب الجهود الكهربائية التي تتولد فيها.

في حالة البلازما الباردة أي لاتوجد حركة حرارية عندها يكون حجب البلازما تام وسوف لاتظهر أي مجالات كهربائية خارج حدود الغيمة المحيطة بالكرة. لكن عند ارتفاع درجة الحرارة فأن الجسيمات عند حدود الغيمة والتي يكون بها المجال الكهربائي ضعيف تمتلك طاقة حرارية كافية للهروب من هذا المجال الكهروستاتيكي.

لذا فأن هذه الغيمة ستكون بنصف قطر حيث أن الطاقة الكامنة مساوية تقريباً للطاقة الحركية للجسيمات، أي سوف يكون الحجب غير تام في هذه الحالة.

أن الجهد الكهربائي الناتج بعد فصل الشحنات يعطي بالعلاقة :

$$\phi = \phi_0 e^{-|x|/\lambda_D}$$

لذا فهو عبارة عن حاصل ضرب جهد كولوم الأعتيادي  $\phi_0$  في معامل أسي يقل تبعاً لزيادة المسافة (x) والمقدار ( $\lambda_D$ ) الذي يسمى بطول ديبياي أو مسافة الحجب، وطول ديبياي يعطي بالعلاقة :

$$\lambda_D = \left( \frac{k T_e}{4\pi n e^2} \right)^{1/2}$$

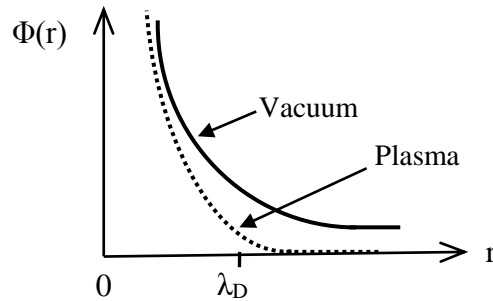
فطول ديبياي الذي يمثل مقياس لمسافة حجب البلازما، يمكن تعريفه على أنه المسافة التي يتم خلالها معادلة المجال الكهربائي الناتج عن الجسم المشحون بواسطة التأثير الناتج عن فصل الشحنات الموجبة والسالبة عن بعضها.

فلاحظ أن تأثير جسيمات الغيمة سوف لا يكون محسوساً بدرجة كبيرة عندما مسافات (x) أقل من ( $\lambda_D$ ) في حين ينخفض جهد الأيون بحيث يصبح غير محسوس نهائياً كلما أبتعدنا وأصبحت (x) أكبر من ( $\lambda_D$ ).

أي أن البلازما المحيطة بأي جسم مشحون موجود داخلها سوف تقوم بعملية حجب تأثير ذلك الجسيم في النقاط التي تبعد عن الجسيم بمسافات أكبر من ( $\lambda_D$ ). ويمكن أن تعطى ( $\lambda_D$ ) بالعلاقات التالية أيضاً :

$$\lambda_D = 6.9(T/n)^{1/2} \quad (\text{cm}) \quad T (K^\circ)$$

$$\lambda_D = 740(kT/n)^{1/2} \quad (\text{cm}) \quad KT (\text{eV})$$



يمكن إيجاد عدد الجسيمات ( $N_D$ ) الموجود في غيمة حجب ديبياي من خلال افتراض أن هذه الغيمة لها شكل كروي :

$$N_D = n \frac{4}{3} \pi \lambda_D^3 = 1380 T^{3/2} / n^{1/2}$$

ويطلق على  $N_D$  في أغلب الأحيان معامل البلازما Plasma Parameter والمسافات أقل من  $(\lambda_D)$  تصبح علاقة  $N_D$  غير صحيحة لأنها تفقد السلوك الجماعي Collective Behavior. أما في حالة السلوك الجماعي للبلازما فتصبح  $N_D$  :

$$N_D \gg \gg 1$$

مما سبق يجب أن يتوفر بالبلازما الشروط التالية :

1. أي ان البلازما يجب ان تكون كثيفة كفاية بحيث  $L \ll \lambda_D$  حيث  $L$  : طول نظام البلازما والتي تمثل البعد الخطي لمجموعة الجسيمات المشحونة.
2. يجب وجود عدد كاف من الجزيئات ضمن غيمة الشحنات، وبالتالي فان السلوك الجماعي يتطلب تحقيق الشرط: عدد الجزيئات في كرة ديبياي واحدة اكبر بكثير من واحد  $N_D \gg \gg 1$
3. ان يكون تردد اهتزازات البلازما ومعدل الزمن بين تصادم واخر يكون  $\omega\tau > 1$

حيث ان غاز ضعيف التأين في محرك صاروخي مثلا ليس بلازما، لان الجزيئات المشحونة تصطدم بالجزيئات المعتدلة غالباً والتي تكون حركتها مرتبطة بقوى هيدروديناميكية عادية اكثر من ارتباطها بقوى كهرومغناطيسية. اذ لكي يكون غاز ما بلازما يجب تحقق:

$$\lambda_D \ll L, \quad N_D \gg \gg 1, \quad \omega\tau > 1$$

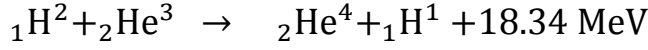
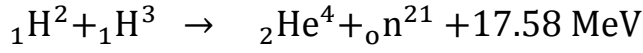
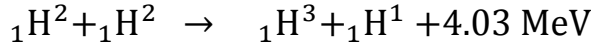
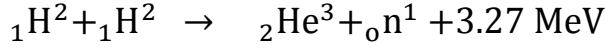
## 9. بعض تطبيقات فيزياء البلازما

### 1- مفاعلات الاندماج النووي Thermonuclear Function

في تفاعلات الاندماج النووي تتحد نوى خفيفة (H ، He) لتكون نوى أثقل ينتج عنه تحرير أو إطلاق كميات كبيرة من الطاقة وذلك لأن مجموع كتل النوى الناتجة من التفاعل هو أقل من مجموع كتل النوى الداخلة في التفاعل لذلك فإن الفرق في الكتل سيظهر بشكل طاقة متحررة مقدارها  $\Delta E$ . وحسب معادلة انشتاين :

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

أن أهم التفاعلات التي يمكن أستغلالها في إنتاج طاقة الاندماج النووي هي :



أن مقدار الطاقة المتحررة في هذه التفاعلات هي مقدار كبير جداً بالمقارنة مع الطاقة المتحررة من أنشطار النواة.

ولتحقيق تفاعل أندماج يجب أن تقترب النوى من بعضها مسافة تصل الى  $10^{-14}m$  لكي يظهر تأثير فعل القوى النووية قصيرة المدى، فلأجل التغلب على قوى التنافر الكهروستاتيكي يجب أن تكون الطاقة الحركية للنوى المتفاعلة مساوية أو أكبر من طاقة جهد كولوم التي تعطى بالعلاقة :

$$u_c = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 R}$$

حيث أن  $Z_1, Z_2$  الأعداد الذرية للعناصر المستخدمة  
بينما معادلة الطاقة الحركية للجسيمات

$$K.E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} K T$$

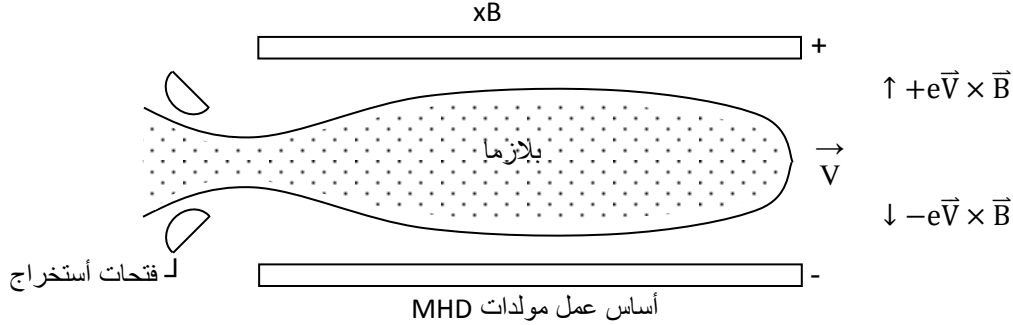
حيث T : درجة الحرارة المطلقة

$$K : \text{ثابت بولتزمان} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule/k}^\circ$$

فحتى نحصل على تفاعل أندماجي يجب أن تكون الطاقة الحركية للجسيمات مساوية أو أكبر من طاقة جهد كولوم لذا يتم أحداث التفاعلات النووية الأندماجية بواسطة تصادم أيونات البلازما. وبالنظر لصعوبة أحتواء البلازما يتم أنتاج البلازما لفترة زمنية معينة وبكثافة معينة كافية للحصول على سلسلة مستمرة من تفاعلات نووية مسيطر عليها.

## 2- المولدات المغناطوهيدروديناميكية (MHD) Magneto Hydrodynamic

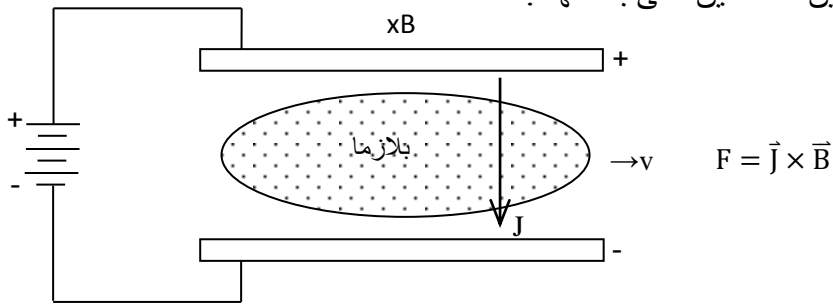
من التطبيقات المهمة لفيزياء البلازما هي إمكانية تحويل الطاقة الحرارية للبلازما بشكل مباشر الى طاقة كهربائية بواسطة مايسمى بالمولد المغناطوهيدروديناميكي. أن هذا النوع من المولدات يعتمد على إمكانية استخدام مجالات مغناطيسية عمودية على اتجاه حركة البلازما لغرض أبطائها وتحويل طاقتها الى طاقة كهربائية.



ولتوليد الطاقة الكهربائية في هذا النوع من المولدات نحتاج الى سرعة عالية للبلازما الداخلة إضافة الى معامل توصيل كهربائي عالي وكثافة عالية.

## 3- الدفع النفاث بواسطة البلازما Plasma Jet Propulsion

هنا مبدأ العمل معاكس لما في المولدات المغناطوهيدروديناميكية (MHD) أي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية وذلك باستخدام مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي يعملان باتجاهين متعامدين على بعضهما.



أساس عمل محركات الدفع النفاث بالبلازما

وهنا البلازما يجب أن تكون واطئة الكثافة جداً لكي تقلل من التصادمات بين جسيمات البلازما وبالتالي نحصل على سرع أنجراف عالية.

أن استخدام البلازما يوفر سرع تصل الى مئة مرة بقدر سرعة خروج الغازات الاعتيادية الناتجة عن احتراق الوقود الكيماوي. ودائماً ماتستخدم من منظومات الدفع بالبلازما بعد خروج الصاروخ عن مدى الجاذبية الأرضية، لذا يتم استخدام أنظمة الدفع الكيماوية لهذه الصواريخ كمرحلة أولى.

#### 4- أجهزة ثنائي البلازما Plasma Diod

وتستخدم في توليد التيار الكهربائي باستخدام قطبين أحدهما ساخن والآخر بارد لتحويل جزء كبير من الحرارية الى تيارات كهربائية.

#### 5- في تطبيقات الليزر

ويتم استخدام مضخات البلازما والتي تستخدم في تكبير الموجات الكهرومغناطيسية والتي تستخدم في إنتاج الليزر.