

# أساسيات في فيزياء البلازما

أ.م.د. بهاء حسين صالح ربيع

رئيس قسم الفيزياء

كلية التربية بن حيان/ جامعة بابل

بسم الله الرحمن الرحيم

(( ولقد أنزلنا اليكم آيات مبينات ومثلا من الذين خلوا من قبلكم  
وموعظة للمتقين ))

# صدق الله العظيم

النور ٣٤

## المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على محمد واله الطيبين الطاهرين ،

أن مفهوم البلازما في الفيزياء يشكل جزء كبير من تطبيق النظريات العامة للفيزياء وهذا ناتج من شمولية سلوك جسيمات البلازما وقد اهتم العلماء في القرن العشرين بالموضوع وبشكل خاص وذلك لتطبيقه في جميع مرفقات الحياة الواقعية والتكنولوجيا الحديثة ، وغالباً ما يتقاضي الطلبة من هذا المفهوم ولكن النظريات القديمة تشير إليه بالتعبير عنه بالنار وهو احد مقسمات الأشكال الأربعة للمادة إضافة إلى أن البلازما تشغل معظم الكون .

يعطي هذا الكتاب موضوع البلازما في اتجاهين رئيسيين والمتمثلة بمعادلة قوة لورنز ومعادلات ماكسويل الأربعة وقد وضعت مفاهيم خاص لكل اتجاه وتطبيق إضافة إلى استخدام بعض التقريبات الافتراضية لتبسيط العمليات المعقدة والناشئة من التزام في المفاهيم الفيزيائية العامة .

ومن خلال سنوات تدريسي لفيزياء البلازما ، يكون الطالب مدرك لجميع مواد الفيزياء الأولية وذلك لتشعب المفاهيم العلمية عند الدخول إلى الأجزاء الذرية والنوية وتأثيرها بالنظريات الكهرومغناطيسية ونظرية الموائع الهيدروديناميكية ، أني أرى الاهتمام في هذا الكتاب وبشكل خاص بسبب افتقار العالم العربي لتلك العلوم المعربة وقد ثبتت بعض المصطلحات باللغة الانكليزية أثناء عملية الشرح لتفادي تغير المفهوم .

ختاماً لا يسعنا إلا أن نتقدم بوافر شكرنا وتقديرنا إلى أعضاء الهيئة التدريسية والعاملين في قسم الفيزياء في كلية التربية في جامعة بابل وكذلك أتقدم بالشكر لكل من ساهم في أعداد هذا الكتاب .

في الوقت نفسه نرجو من القارئ الكريم أن يزودنا بأي ملاحظة تساعد في تقويم هذا الكتاب ، نرجو أن نكون قد وفقنا في هذه الخدمة والله الموفق

د . بهاء حسين ربيع

المؤلف

## فهرست الكتاب

### الفصل الاول

- 1-1 المقدمة-----  
1-2 الخواص العامة لفيزياء البلازما-----  
1-3 تطبيقات تقريبات البلازما-----  
4-1 قشرة ديبياي-----  
5-1 عامل البلازما The plasma parameter-----  
6-1 وجود البلازما و معادلة ساها Suha equation-----  
7-1 شروط البلازما-----  
8-1 أنواع البلازما-----

### الفصل الثاني

- 1-2 حركة جسيم مشحون في مجال كهرومغناطيسي-----  
2-2 المجال الكهرو المغناطيسي المنتظم-----  
1-2-2 المجال المغناطيسي  $\vec{B}$  غير منتظم-----  
2-2 - 2 أنجراف الجسيمات المشحونة-----  
2-2-3 المجال المغناطيسي  $\vec{B}$  المنحني - انسياب منحنى الخطوط-----  
1-3-2-2 المرايا المغناطيسية  $\vec{B} \parallel \nabla B$ -----  
2-3 المجال  $\vec{E}$  غير المنتظم-----  
4-2 المجال  $\vec{E}$  متغير بالنسبة للزمن-----  
5-2 المجال  $\vec{E}$  متغير بالنسبة للزمن-----  
6-2 سرعة الانجراف المركزية في النظام (cgs)-----  
7-2 المجال  $\vec{B}$  غير المنتظم-----  
8-2 الثوابت المكظومة حراريا-----  
1-8-2 الثابت الأول المكظوم حراريا  $\mu$ -----  
2-8-2 الثابت الثاني المكظوم حراريا  $J$ -----

-----3-8-2 الثابت الثالث المكثوم حراريا  $\Phi$ -----

### الفصل الثالث

-----1-3 مقدمة-----

-----2-3 معادلات MHD-----

-----1-2-3 معادلات ماكسويل-----

-----2-2-3 المواد الممغنطة-----

-----3-2-3 العوازل-----

-----4-2-3 ثابت سماحية العزل  $\epsilon$  في البلازما-----

-----3-3 معادلات الحركة للموائع-----

-----1-3-3 الطاقة المحفوظة داخل مائع البلازما-----

-----2-3-3 تنسور مصفوفة الاجهاد (The stress tensor)-----

-----3-3-3 الصدمات Collisions-----

-----4-3-3 مقارنه مع الهيدروديناميكا العادية-----

-----5-3-3 معادلة الاستمرار (Equation of continuity)-----

-----6-3-3 معادلة الحالة (Equation of State)-----

-----7-3-3 مجموعة المعادلات الكاملة للموائع-----

-----4-3 انجراف المائع بشكل موازي للمجال المغناطيسي (Perpendicular to  $\vec{B}$  Fluid Drifts)-----

5-3 انجراف الموائع بشكل موازي للمجال المغناطيسي

----- $\vec{B}$  fluid drifts parallel)-----

### الفصل الرابع

-----1-4 مقدمة-----

-----2-4 سرعة المجموعة (Group Velocity)-----

-----3-4 الاهتزازات في البلازما (Plasma oscillations)-----

-----4-4 أمواج إلكترونات البلازما (Electron plasma waves)-----

-----5-4 الأمواج الصوتية (SOUND WAVES)-----

-----6-4 الامواج الايونية (ION WAVE)-----

- 4-7 تطبيق تقريب البلازما
- 4-8 مقارنة بين الأمواج الالكترونية و الأيونية
- 4-9 النذب الكهروستاتيكي للإلكترونات والعمودية على  $\vec{B}_0$
- 4-10 الأمواج الكهرومغناطيسية عندما يكون المجال المغناطيسي الخارجي  $\vec{B}_0 = \dots$
- 4-11 انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في البلازما عندما  $\vec{k} \perp \vec{B}_0$
- 4-12 حالات الانقطاع والرنين للأمواج الكهرومغناطيسية المنتشرة في البلازما (and Resonances) Cutoffs )
- 4-13 انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية بصورة موازية لـ  $\vec{B}_0$
- 4-14 أمواج الموائع المغناطيسية Electromagnetic Waves parallel to  $\vec{B}_0$
- (Magneto hydrodynamic Waves)
- 4-15 معادلات MHD لمائع ناقل وغير لزج وقابل للانضغاط
- 4-16 أمواج MHD السريعة والبطيئة
- 4-17 سطوح المتعامد الموجي (Wave normal Surfaces)
- 4-18 تأثير تيار الإزاحة على الانتشار الأمواج MHD
- 4-19 تخامد امواج MHD
- 4-20 الأمواج في البلازما الباردة
- 4-20-1 المعادلات الاساسية لنظرية الايون المغناطيسي
- 4-20-2 انتشار الأمواج في البلازما الالكترونية الموحدة (المتماثلة) الخواص من أجل  $\vec{B}_0 = \dots$
- 4-20-3 انتشار الأمواج في البلازما ممغنطة وباردة
- 4-21 ملخص عن أمواج البلازما الأساسية
- 4-22 مخطط ( Clemmow – Mullaly – Allis ) CMA

## الفصل الخامس

التفاعلات الاندماجية .....

5-1 لمقدمة

- 2-5 مصدر انتاج طاقة الشمس
- 3-5 الوصول الى حالة البلازما
- 4-5 التفاعلات النووية الاندماجية في
- البلازما والتي يمكن حدوثها على الأرض
- 5-5 الشروط التي تساعد على استمرار تفاعل اندماجي
- 6-5 إمكانية المفاعل الاندماجي

..... ملحق

..... الثوابت الفيزيائية

..... المراجع

# الفصل الأول

## 1-1 المقدمة :

تظهر المادة بثلاث حالات وهي الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية و في السنوات الأخيرة بدأ تركيز العلماء على الحالة الرابعة للمادة .

إن درجات الحرارة العالية تعني إن هناك حرية لحركة الجزيئات المكونة للمادة في الأجسام الصلبة تكون الذرات والجزيئات مقيدة إلى درجة الصلابة أما في الحالة السائلة فان الجزيئات ممكن أن تتحرك بحرية ولكنها محدودة ،أما في الحالة الغازية فان الذرات والجزيئات تتحرك بحرية داخل الذرات .وإن الالكترونات تنجز حركة متوافقة في داخل مداراتها بموجب القوانين الكمية ،وعلى أية حال فإن الكترونات البلازما تتحرر من الذرات وتكتسب حرية تامة للحركة .وبفقدان بعض هذه الالكترونات تبقى الذرات والجزيئات تكتسب شحنة موجبة ولذلك تدعى بالأيونات الموجبة . لذلك فإن البلازما هي غاز مؤلف من جزيئات ذات شحنة موجبة وسالبة والمحصلة النهائية لهذا المزيج الغازي تساوي صفراً أي (متعادلة).الالكترونات المتحركة بحرية تستطيع أن تنتقل بشكل تيار الكتروني ،وبعبارة أخرى إن البلازما غاز منتجا صناعيا وليس طبيعيا في ظروف الجو

الأرضية. أن أصل كلمة البلازما يوناني ويعني المائع المنظم ، ( $\pi\lambda a = ma$ ) وقد وضح لانغيمور (langmuir.I) وتونكس عام 1929 باي حالة والبلازما تملك صفتين وهي شبه متعادلة كهربائياً  $quasanataral$  وتسلك سلوك جماعي  $behever-Callactiv$

في الوقت الحالي فان التكنولوجيا الكهربائية للمواد الفلزية الصلبة تستعمل كموصلات كهربائية وتحتوي على الكترونات حرة تتحرر بقوة مرتبطة مع الكثافة العالية ، وإن الذرات في تلك الفلزات مضغوطة بشكل كبير بحيث أن أغلفة الكترونات تتحطم في حين أن الالكترونات في البلازما تكون مفصولة بقوة تنتج بالحركة السريعة للدقائق الساخنة مثل فعالية الضوء أو التفريغ الكهربائي.

إن الخصائص النادرة للبلازما تعطي أساسا لتوقع تطبيقات تكنولوجية جديدة كموصلات كهربائية ووسائط تتحمل الحرارة العالية حيث إن البلازما في التطبيقات الكهربائية تمتلك صفة إيجابية واضحة على الفلزات لكونها تضيء إلكتروناتها وذراتها بالآلاف لا بل الملايين المرات أكبر من الفلزات .

أن فيزيائية البلازما أصبحت علما متخصصا لذاته، على الرغم من كونها قد عرفها الإنسان بأزمة مبكرة وإن تلك الشرارات التي تظهر بين التماسات تمثل البلازما المتواجدة مع التفريغ الكهربائي في الهواء . وفي المساء وفي جميع شوارع المدن الكبرى كلنا نرى الإشارات الغازية المضاءة والتي جميعها تمثل البلازما ،

أي مادة تسخن لدرجة حرارة عالية وبشكل كافي تنتقل إلى حالة البلازما. إن الانتقال يحدث بسهولة كبيرة مع الأبخرة الفلزية القاعدية مثل الصوديوم ،البوتاسيوم وبشكل جزئي مثل عنصر السيزيوم والذي ينتج لهب اعتيادي يعطي بعض التوصيلية الكهربائية والتي تمثل تأينا ضعيفا جدا وهي مايسمى بحالة البلازما. هذه التوصيلية هي بسبب عدم النقاوة القليلة للصوديوم والذي نميزه بالضوء الأصفر. وإن درجته الحرارية تصل لعدة درجات أو الآلاف من الدرجات السليزية والتي تكون ضرورية للتأين الكلي للغاز. بينما نلاحظ تحت الظروف الأرضية الاعتيادية تكون حالة البلازما للمادة تماما نادرة وغير متواجدة .ولكن في الأجسام الصلبة الباردة الكونية من أرضنا نتوقع وجود البلازما فيها نادرا. أغلب المادة في الكون عندما تكون متأينة توجد بحالة بلازما كما في النجوم و أن التأين يكون بسبب درجات الحرارة العالية .وفي السدم الغازية التأين يكون بسبب الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من النجوم .في نظامنا الشمسي تعتبر الشمس مؤلفة وبشكل كلي من البلازما التي كتلتها أكبر **30300** مرة من كتلة الأرض .إن الطبقات العليا من الغلاف الجوي الأرضي متأينة بواسطة الشمس والذي يكون مؤلفا من البلازما ،وهذه الطبقات العليا تسمى الايونسفير والتي تكون مسئولة عنالاتصالاتالراديوية البعيدة المدى.

وعند قراءة التاريخ للأزمنة القديمة كان يعتقد إن العالم مكون من أربعة عناصر وهي : الأرض،الماء،الهواء،النار. أن الأرض تمثل الحالة الصلبة والماءيمثل الحالة السائلة للمادة والهواء يمثل الحالة الغازية للمادة والبلازما تتوافق مع العنصر الرابع والذي هو النار والتي تظهر بشكل دائم في المقياس الكوني . ولا يوجد حد فاصل بين حالة البلازما والحالة الغازية ،حيث أن البلازما تخضع للقوانين الغازية وفيحالات خاصة تتصرف مثل الغاز.

إن الصفات الجديدة والأكثر من العادية تظهر عندما البلازما توضع في مجال مغناطيسي قوي و سوف نشير لهذا النوع من البلازما بالبلازما الممغنطة .

وكما أشرنا إلى إن الإلكترونات في الذرة تتجز حركة اهتزازية توافقية ولكن في البلازما الإلكترونات تتواجد بدون أي مستوى مثل الجزيئات الغازية ،ومع ذلك هي خاصة مهمة للبلازما لان حركة الجزيئات يجب أن تترتب والجسيمات يجب أن تنشط في هذا الوسط المنظم .

العامل الذي ينشط أو يقوي الإلكترونات الحرة لكي تخضع لانضباط الصلابة هو المجال المغناطيسي .في الذرات والإلكترونات والنويات التي تتجمع بهيئة عناقيد في مجاميع صغيرة ،وفي البلورات الصلبة تتواجد النويات والإلكترونات في مواقع ثابتة. بينما في البلازما الممغنطة فإن الإلكترونات والنويات تتحرك بشكل جماعي ومتماسك ،

ولذلك فإن حركة الدقائق (الجسيمات) في الغاز العادي محدودة بواسطة الاصطدامات فيما بينها وبين الجدران ،أما حركة جسيمات البلازما وفي حالات خاصة تكون مقيدة ومحددة بواسطة الجدار المغناطيسي وتدفع بواسطة المكبس المغناطيسي أو تحجز بواسطة المصيدة المغناطيسية.

في هذا المجال المغناطيسي القوي فإن جسيمات البلازما تجبر لتدور حول خطوط القوة للمجال المغناطيسي ومع ذلك تستطيع أن تتحرك بحرية على طول المجال المغناطيسي .

والجمع بين الحركة الحرة على طول خطوط المجال وحول خطوط المجال ينتج الحركة الاهليجية . حيث جسيمات البلازما تنشط لتتحرك عبر المجال المغناطيسي والذي سوف تسحب المجال المغناطيسي معها . نحن نقول إن جسيمات البلازما تلتصق إلى خطوط المجال المغناطيسي أو أن المجال المغناطيسي قد يرد إلى البلازما ولكن هذه الصورة الباردة لها تطبيق فقط في البلازما الحارة.

في البلازما الحارة إن الجسيمات تمر مع بعضها البعض بسرعة ومن دون تداخل كبير ،مثل هذه البلازما لا تتطلب مقاومة للتيار الكهربائي . إذ تكون هذه البلازما توصيلتها عالية جدا .



أما في البلازما الباردة تكون التوصيلية ضعيفة ومن ناحية أخرى لها تفاعلات بين جزيئاتها بسبب الاصطدامات و تسمح للمجال المغناطيسي بالتسرب خلال البلازما . في كلامنا عن البلازما الباردة يجب أن ندرك أن مقياس درجة الحرارة للبلازما ليس متجانسا في كل المائع الحار البلازمي يكون مقياس درجات الحرارة بوحدات فولت- إلكترون والتي تساوي (11C<sup>0</sup>600) وهذا يعني أن قراءة العشرات أو المئات أو آلاف من الدرجات المؤدية في التطبيقات الفيزيائية يتمثل بضع إلكترون - فولت.

أما في البلازما الحارة على الأقل هناك بضع من مئات الفولت- إلكترون أو ملايين الدرجات . إذ الغاز لم يتمكن من التحول إلى حالة البلازما وهذا يعني عدم إمكانية تسخينه لهذه الدرجات العالية ولا يمكن احتجازه حيث لا توجد جدران صلبة تتحمل هذه الدرجات الحرارية وهذا يؤدي إلى تشتت البلازما الحارة والطريقة الوحيدة لحجزها تكون داخل المجال المغناطيسي ، وبالتالي فإن جسيمات البلازما تصف بحركات اهليجية حول خطوط المجال ولا تستطيع أن تسلك ممرا آخر طويلا ولا يمكن أن تصطم مع جسيمات أخرى إلا في بعض الحالات النادرة ، وكلما تطول فترة عدم الانقطاع فإن الجزيئات لاتضرب الجدران، هذه الخصوصية لسلوك البلازما تعتبر أساسا لمختلف الخطط المقترحة لاحتجاز البلازما الحارة بواسطة المجال المغناطيسي. فقد وجد أن تأثيرات أخرى غير الاصطدامات تستطيع أن تضرب أو تطرق الجزيئات من خطوط المجال . أحد هذه الأسباب الحركة المنتظمة للجزيئات وهي التفاعل الجمعي . ومثال على ذلك لتصور سلسلة أو تسلسل من الشاحنات المتحركة في خط منتظم على طول الخط السريع فإذا واحدة من هذه الشاحنات تضطرب فيؤدي ذلك إلى اضطرابات نسق الحركة ، وإن الشاحنات التي تكون في نهاية السلسلة سوف تتحرك لتكون في المقدمة وعلى كون إن هذا الاضطراب قد بدأ في نقطة واحدة فإنه سوف ينتشر بشكل تدريجي على كامل السلسلة . إن هذا التأثير والذي سببه الاضطراب الصغير يدعى عدم الاستقرار في البلازما وأن اللاستقرارية هذه شائعة جدا وواحدة من أعظم المشاكل المهمة والصعبة في الفيزياء الحديثة في الحصول واحتواء البلازما الحارة والسؤال هنا أي مادة ممكن أن تسخن لتلك الدرجة الحرارية العالية وهذا يعني أنه لا يوجد جدار صلب يستطيع أن يحويها فقط المجال المغناطيسي يستطيع أن يحوي البلازما الحارة حيث انه ممكن أن يكون حاجزا غير نافذا لمختلف جسيمات البلازما ولايسمح لها بالهروب من الجدران ولاتنتقل طاقتها من الجدران . وأن العقبة الرئيسية في المصيدة المغناطيسية المثالية هو مشكلة عدم الاستقرار ، وعدم وجودها فإن احتواء البلازما يمكن أن يحل بأي من الخطط المتعددة ، و لتصور أنبوب مملوء بالبلازما بين قطبي الكاثود والانود أي تكون بتوصيل هوائي في هذا الأنبوب يمكن الحصول على ملف مغناطيسي، عند مرور تيار كهربائي خلال الأقطاب والذي سيصبح كمغناطيس كهربائي بعد تثبيت المجال الكهربائي في داخل الأنبوب . إن خطوط المجال المغناطيسي تكون على طول الأنبوب وموازية لمحوره . فإذا كانت جميع جزيئات البلازما تتحرك بنسق منتظم فإنها سوف تحتفظ بواسطة المجال الكهربائي من خلال ضربها أو اصطدامها بالجدران على طول الأنبوب ، على أية حال فإن الجسيمات تستطيع أن تتحرك بحرية وتستطيع أن تهرب من النهاية.

ولذلك هنالك طريقتان يمكن أن تحفظ الجسيمات في الدرجات الحرارية العالية وهي:-

### الأولى:

وهي ربط الأنبوب بشكل دائري وهذا يعطي شكلا يشبه الكعكة والتي تعرف هندسيا بطريقة المصيدة أو الشبكة المغناطيسية من نوع ألمف الحلقي ( Toras ).

### الثانية:

يمكن تثبيت المجال المغناطيسي الأقوى عند نهايات الأنبوب وهذا المجال يعمل مثل كبح مغناطيسي أو موقف . ولذلك فإن جسيمات البلازما تعكس من منطقة المجال الأقوى والتي تدعى بالمرآة المغناطيسية . أما في الملف الحلقي فإن البلازما تسخن بشكل بسيط والمصيدة تملئ بالغاز ، وبالتالي يكون المجال الكهربائي القوي يعتمد على الغاز ، وهذا يسخن بواسطة التيار الجاري بنفس الطريقة التي يسخن بها الهيتز الكهربائي. في هذه الطريقة إن الغاز يسخن إلى الدرجة التي يحول بها إلى حالة البلازما مع ذلك بسبب زيادة درجة الحرارة فإن المقاومة الكهربائية للبلازما تقل بشكل كبير وهذا ناتج من زيادة في التسخين . وأما الطرق الأخرى اقترحت للحصول على درجات الحرارة العالية والتي تتضمن طرق أكثر تكرارا للتسخين عبر تناوب التفريغ أو الضغط السريع بواسطة المكبس المغناطيسي . إنها طريقة بسيطة لحقن الإلكترونات السريعة حيث يتم التعجيل سابقا بواسطة

المجال الكهربائي في الشبائك (المصائد) المرآتية في تلك الطريقة نحصل على البلازما الحارة بشكل مباشر. إن التسخين بجميع هذه الطرق هو ملائم فقط في ظروف معينة والتي تسمى بالبلازما الغير متماسكة مع الجدران الصلبة. إن تسخين البلازما بتماسها مع الجدران تماما حالة مستحيلة، كعدم إمكانية غلي الماء بوعاء من الثلج. وللحصول على بلازما لا تصطمم بالجدران يمكن حصرها بطريقة منتظمة خلال المصيدة (المشبك) المغناطيسي. مع ذلك عدم الإستقرارية دائما متواجد، إن هذه الحالة شبيهة بقيادة أو تعليم الأطفال للعبور من مناطق العبور. إن الأيونات والإلكترونات تتحرك حول جميع الاتجاهات وتصطمم بالجدران ولهذا ستفقد طاقتها. و جزيئات البلازما القاصفة للجدران تسبب في خلع بعض الذرات من مادة الجدران وأثناء ذلك سوف تندمج مع مكون البلازما.

إن عدم الإستقرارية قد تعود إلى تلوث البلازما بالملوثات، الذرات الغير نقية الثقيلة والتي تفقد طاقتها على شكل ضوء وأشعة فوق بنفسجية وهذا النقصان بالطاقة يتزايد تصاعديا، وبالتالي تكون المصيدة أو الشبكة مملوءة بنواتج باردة من تبخير الجدار مقارنة مع البلازما الحارة.

والأغلبية العظمى من جسيمات البلازما تتحرك بشكل دائمى بمراحل وبهذه الطريقة سوف تحجز بشكل جيد في مشبك الملف الحلقي أو المرآة المغناطيسية. في الحقيقة إن رتبة البلازما تتحطم عن طريق حصول اضطراب والذي يدعى بعدم الاستقرارية المرتفعة. كثيرا من علماء الفيزياء يحاولون إنهاء حالة عدم الإستقرارية (مثل برنامج تهدئة البلازما هو موضوع مهم) وكما في الأعماق الداخلية للشمس فإن حالة ضغط البلازما الشمسية تنتج درجة حرارة تصل إلى رتبة عشرة مليون كلفن في مثل هذه الدرجة الحرارية فإن الذرات تصطمم مع هذه القوة التي تواجهها هذه العملية والتي تنتج تفاعلات حرارية ذرية وتحول الهيدروجين إلى هيليوم والتي بدورها تحرر كمية من الطاقة الهائلة. هذه الطاقة تشع بواسطة الشمس وتمثل أصل الطاقة في الأرض "هل يمكن إجراء هذه التفاعلات الحرارية للحصول على طاقة واستخدامها في الأرض" دائما عند درجات الحرارة العادية إن الهيدروجين يحترق طاقة جدا قليلة وذلك بسبب الكميات الهائلة من الهيدروجين وقوة الضغط العالية للجذب في الشمس فان الهيدروجين الشمسي ممكن أن يكون أصلا قويا للطاقة، وان النظائر الثقيلة للهيدروجين مثل الديتريوم والتريتيوم تحرر طاقة في الشمس تكفي لإدامة الحياة على سطح الكرة الأرضية. وإذا استطعنا أن نخلق إدامة ملائمة للبلازما في المشبك (المصيدة) المغناطيسية عند درجات الحرارة تقترب من المليون درجة فإن مشكلة الطاقة الحرارية النووية سوف تحل، ولإنجاز هذا الهدف يكون بإيجاد طريقة للتغلب على عدم إستقرارية البلازما وهذه العملية صعبة جدا وإن الأهم من ذلك لا احد يستطيع أن يقول كيف تستطيع أن تقترب من الحل وبأي طريقة تعتمد. إن المشكلة الذرية الحرارية سوف تحفز بحوث البلازما بمعرفة المعلومات الواسعة عن خواص البلازما والتي تحصل بسبب تلك البحوث ولكن دائما إن نمو العلم يحتمل نتيجة غير متوقعة (إن كولومبس كان محاولا لإيجاد طريق إلى الهند لكنه وجد أمريكا). في تاريخ العلم أشياء غالبا ماتحدث في هذه الطريقة في فصل التحري عن خواص البلازما يجب أن نعلم إن البلازما يمكن تعجيلها بواسطة المجال المغناطيسي. إن قاذفات البلازما تنتج من بلازما تقذف بسرعة تفوق مئة كيلو متر في الثانية وبالتالي يجب أن تدرك إن جهاز توليد البلازما يستطيع إنشاء ذلك وبنفس الأس ومحرك البلازما يعمل مثل المحركات الكهربائية. وأن جسيمات البلازما تحل محل الموصل في الكهربائية. ولكن في المحركات الكهربائية، نحن يمكن أن نحولها إلى مولدات بمفاتيح بسيطة تماما بشكل طبيعي وهذه الفكرة تقود إلى فكرة إيجاد مولد البلازما.

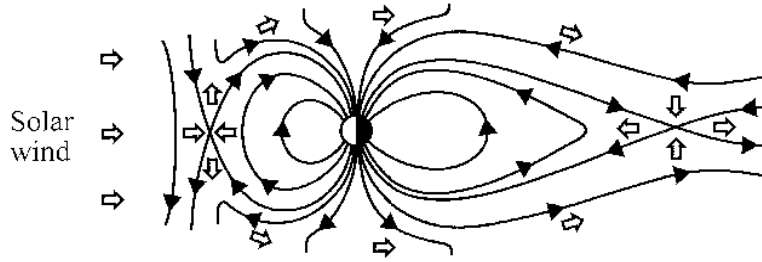
في هذا المولد عند تقليل ضخ البلازما في المجال المغناطيسي ينتج تيارا كهربائيا. ولذلك من غير المعقول إن التكنولوجيا الكهربائية تستطيع أن تحل محل الفلزات الثقيلة كموصلات بلازمية أكثر إضاءة. ولا يوجد في الوقت الحاضر التقنيات لاستعمال البلازما في الإلكترونيات، ولكن البلازما في المجال المغناطيسي تطبق بأشكال متنوعة وكبيرة من المذبذبات وبالتالي تستطيع أن تبعث أمواج راديوية. في الوقت الحاليان الاهتزازات الغير منتظمة والتي كنا ندعوها ضوضاء قد سجلت ولكن النظرية تشير إلى أن مسببات البلازما بالإمكان بنائها والتي تهتز بشكل كلي بترددات محسوبة. وهناك الكثير من السلوك الغير طبيعي في البلازما المغناطيسية ونتيجة حركة الكتل تسبب قوى كهرومغناطيسية تؤدي إلى حركة الإنجرافات، والقوى الطبيعية الغير كهربائية تستطيع أن تحث تيارات مختلفة. بينما السرعة المرتبطة مع الحركة والتيار ليست موازية للقوة ولكن عمودية عليها. والقوة لا تسبب تعجيل البلازما ولكن تبلغها سرعة ثابتة. إن جميع هذه الخواص الغير طبيعية للبلازما قد استغلت للمنفعة البشرية. ولعدم إستقرارية البلازما لا تجد لها تطبيقات مفيدة مثلا كطريقة الاهتزازات البلازمية المتوترة.

وجميع ظواهر البلازما ماهي إلا دليل على المقياس الكبير في فضاء عميق. وان التوهجات (الإشعاعات الشمسية هي دليل على الضغط السريع للبلازما بواسطة المجال المغناطيسي. في هذه العملية إن التوهج يطرد في الفضاء بشكل مجرى بلازما للمجال المغناطيسي في الفضاء العميق والذي يستولي على البلازما المطرودة

بواسطة الشمس وبأنواع مختلفة من المصائد المغناطيسية . ومصيدة البلازما في مثل هذا النوع وجدت قرب الأرض وهذه المصيدة تعرف بحزام الإشعاع وتسبب الخطر لرواد الفضاء . وكما موضح في الشكل رقم (1-1)

ومن خلال التوهجات الشمسية فإن العواصف المغناطيسية في الأرض قد لوحظت مع اضطراب في الاتصالات الراديوية . التي يسبب في اضطراب خارج الغلاف الأرضي الغازي والذي يضخ مجاري البلازما أمواج الصدمة والتي تتقدم كبلزما بين الكواكب. إن تقدم أمواج الصدمة في الفضاء البيئي هو واحد من الظواهر الملحوظة والمرفقة للبلازما المغناطيسية . (الصواريخ الفضائية والأقمار الصناعية بشكل ثابت تؤكد الدور الذي تلعبه البلازما في الفضاء)

في فكرتنا للدخول في عمر الفضاء ولدرجة معقولة يجب أن تعرف عمر البلازما ، هذه المرحلة الجديدة للنمو في العلم والتكنولوجيا يفرض زيادة المتطلبات للفرع الحديث للفيزياء وهو ما يدعى بـ (فيزياء البلازما) .



شكل رقم ( 1-1 )

## المجالات المغناطيسية الأرضية ويتوضح فيها تأثير الرياح الشمسية

### 1-2 الخواص العامة لفيزياء البلازما :

1- تكون على الأغلب غير متجانسة (التركيز، درجة الحرارة ، الأشعاع ،المجال المغناطيسي) التركيب ولذلك فان خواصها الفيزيائية دوال الروابط المجالات أو الفضاءات.

2- في أكثر الأحيان تكون متباينة الخواص (anisotropic) وهذا يعني ان خواص البلازما تعتمد على اتجاه (مثال على ذلك فان الموصلية الكهربائية قد تكون كمية متجهة) .

3 - مبددة (dissipative) وهذا يعني إن الطاقة الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية يمكن إن تتحول إلى حرارة.

4 - مشتتة (dispersive) ولذلك يكون طور السرعة لنمط موجي معين يعتمد على تردد الموجة  $\mathbf{k} = \mathbf{v}_p$ .

5 - موصلة كهربائية بحيث إن الفولتية تولد التيار الكهربائي وعندها يظهر حث فارادي عند تحرك البلازما والأخذ بنظر الاعتبار المجال المغناطيسي الخارجي.

6 - لزجة (viscous) بحيث إن الطاقة الميكانيكية تتبدد إلى الحرارة وتظهر طبقات بين أطراف البلازما وهذا يعيق محرك البلازما.

7- موصلة للحرارة بحيث يمكن نقل الحرارة من خلال بلازما إلى جسم أخرى.

8- لاختطية (nonlinear) وهذا يعني بان موجتين تتفاعلان وبالصورة التي يمكن لها توليد الاضطراب وعدم الاستقرار في تقاطع التضمين للموجات الكهرومغناطيسية .

9- شفافة وغير شفافة للموجات الراديوية ويعتمد ذلك على طول الموجة وهذه الخاصية تستخدم في التطبيقات الهندسية وتحديد بث الموجات الراديوية بين الغلاف الأيونوي وسطح الأرض .

10- ذات نفاذية مغناطيسية ضعيفة ولذلك فان المجال المغناطيسي يضعف بوجود البلازما.

11 - يمكن تصل البلازما إلى التفاعلات النووية الحرارية وهذا يعني إمكانية بناء أجهزة التحام النووي الحراري لإنتاج الطاقة.

12- ناقلة للطاقة ويمكن تحويلها إلى عدة أشكال من كتوليد الطاقة الهيدروديناميكية .

13 - قد تكون في حالة توازن ميكانيكي عند احتوائها بمرآة مغناطيسية ( وعندها لا تكون في حالة توازن ثرموديناميكي ).

14- نادرا ما تكون في حالة توازن نرموديناميكي وعليه فهي لاتبعث إشعاع للجسم الأسود.

15 - قد تكون غازا كثيفا أو ذا كثافات عالية إلى الحد الذي يمكن اعتبارها سائلا مستمرا يخضع لعلاقات النظرية العامة للغاز المثالي .

### 3-1 تقريبات البلازما :

أن ظاهرة البلازما تشمل على كم من الصفات الحركية والكهرومغناطيسية والحرارية مما ينتج تداخل بعض العمليات النظرية والعملية في حلول المشاكل والتي تسبب في تعقيدها وعدم وضع الصورة الصحيحة لها ولذلك نستخدم بعض التقريبات المبسطة والتمثلة:

1- التقريبات التي تتضمن المجالات الكهرومغناطيسية وهي :

- (a) تفترض إن المجال المغناطيسي يساوي صفر ( البلازما الغير مغناطيسية ) .
- (b) تفترض عدم وجود حث للمجالات الكهربائية ( تقريبات كهروستاتيكية ) .
- (c) تهمل إزاحة التيار في قانون أمبير (عندما تكون السرعة اصغر بكثير من سرعة الضوء ) .
- (d) تفترض إن كل المجالات المغناطيسية تنتج بواسطة الموصلات الخارجية على سطح البلازما .
- (e) إن تنوع هذه الفرضيات يلاحظ في التناظر الهندسي ( مثال عليه الخاصية المنتظمة ، اتجاه الجسيمات المنتظمة ، التناظر السمتي azimuthally من خلال المحور).

2- التقريبات التي تتضمن توضيح الجسيم :

(a) معدل قوة لورنتز على بعض المجاميع الجسيمية وهي :

1- نظرية فيلسوف **Vlasov Theory** : ان معدل كل الجسيمات (e,p) في تلك الفضاءات تكون بسرعه متشابهة أو متساوية عندما تكون في موقع مميز في البلازما ، حيث تكون دالة التوزيع  $f_{\sigma}(x,v,t)$  حيث أن  $\sigma$  تمثل كثافة الجسيمات والتي تمتلك سرعة  $v$  وبموقع  $x$  وعند زمن  $t$  .

2- نظرية المائعين **fluid Theory -Two** : التي تنتج معدل سرع جميع الجسيمات في كل الفضاءات  $(x,t)n_{\sigma}$  ، ومعدل السرعة  $(x,t)u_{\sigma}$  ، والضغط  $(x,t)p_{\sigma}$  والمعرف نسبة إلى تلك الفضاءات .

3- نظرية حركة الموائع الممغنطة (**MHD Magnetohydrodynamic**) : إن معدل العزم لكل الفضاءات التي تحتوي على كل الجسيمات والمميزة في البلازما تستخدم كثافة مركز الثقل  $\rho(x,t)$  ، وسرعة مركز الكتل  $(x,t)u$  ، والضغط  $(x,t)p$  والمعرف نسبة إلى سرعة مركز الكتل .

4- الافتراضات الزمنية ( مثال على ذلك هناك بعض الظواهر تفسر بمقارنات سريعة أو بطيئة لبعض الترددات المميزة للجسيمات والتي تتمثل في ترددات السايكلترون ) .

5- الافتراضات الفضائية ( مثال ، افتراض قياس الطول من مقارنة أطوال البلازما المميزة إن كانت كبيرة أو صغيرة والتي تتمثل في ترددات السايكلترون ) ( **Cyclotron** ) .

6- فرضيات السرعة ( مثال ، أن تفسير الظواهر سريعة كانت أو بطيئة مقارنة مع السرعة الحرارية  $V_{T\sigma}$  لفضاءات الجسيمات  $\sigma$  ) .

### 4-1 قشرة ديبي :

أن أكثر الخصائص المهمة في البلازما هو قشرة ديبياي لكل شحنة مقابل سحابة من الجسيمات المشحونة المتعاكسة الذي يتمثل بجهد ديبياي الناتج من ايون موجب في البلازما محاطا بالالكترونات ، أن البلازما المتعادلة عينياً يسبب تساوي عدد الايونات الموجبة والسالبة هي ليست بالضرورة خالية من المجالات الكهربائية الموضعية داخل البلازما والناتجة عن تواجد الايونات والالكترونات وأن لهذه المجالات مدياتها أقل بكثير من مدى جهد كولوم للشحنات المستقرة ولمعرفة المدى الذي يكون خلاله الجهد الكهربائي للشحنة مؤثراً داخل البلازما فأننا سوف نختار جسم مشحون معين والمجال الكهربائي الناتج عن هذا الايون سوف يؤدي إلى تفريغ الشحنات الموجبة في منطقة المجال المحيط به وذلك بسبب تناثر الايون مع الشحنات الموجبة الأخرى المتواجدة في البلازما من جهة الجاذبية مع الالكترونات السالبة من جهة أخرى . ولهذا يحدد بقياس خاص يدعى بطول ديبياي ( $\lambda_D$ ) ويخمن في اتجاه واحد هو ( $\lambda$ ) بواسطة تكافئ الجهد على الشحنة المنفصلة :

$$E_p = e\phi(\lambda_D) \quad (1-1)$$

لأعلى مسافة حجب ( $\lambda_D$ ) مع طاقة حركية للجسم ( $2k_B T/1$ ) ، وفي تقريبات المجال الكهربائي  $E(x)$  لبلازما الهيدروجين كمثال ( $n=n_i=n_e$ ) نحصل على :

$$\nabla \cdot E = Q/\epsilon_0 = ne/\epsilon_0 \approx E(x)/x \quad (2-1)$$

وعليه فإن محصلة الطاقة الكامنة ( Potential energy ) تكون :

$$E_p = e\phi(\lambda_D) = e \int_0^{\lambda_D} E(x) dx = ne^2 \lambda_D^2 / (2\epsilon_0) \quad (3-1)$$

ونستنتج أن

$$\lambda_D = \left( \frac{\epsilon_0 k_B T}{ne^2} \right)^{1/2} \quad (4-1)$$

ومن الحلول معادلة بوسن ( Poisson's equation )

$$\Delta\phi = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d\phi}{dr} \right) = \lambda_D^{-2} \phi \quad (5-1)$$

تعطي طول ديبياي الكلي

$$\lambda_D^{-2} = \lambda_{De}^{-2} + \lambda_{Di}^{-2} \quad (6-1)$$

تعوض قيم طول ديبياي للإلكترونات والايونات بالصيغة التالية :

$$\lambda_{De,i} = \left( \frac{\epsilon_0 k_B T_{e,i}}{n_{e,i} e^2} \right)^{1/2} \quad (7-1)$$

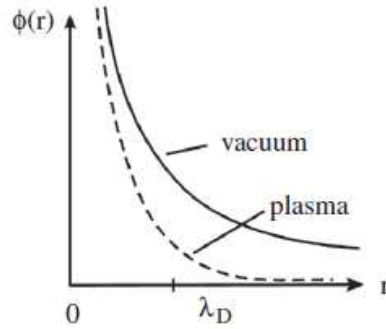
وتوزيع الجهد يكون

$$\phi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \exp \left( -\frac{r}{\lambda_D} \right) \quad (8-1)$$

ويمكن توضيح المعادلة أعلاه في شكل رقم ( ٢-١ ) ويوضح الخط المنقط جهد كولوم لكل شحنة ( $q$ ) من الجسم في البلازما ، وعليه فإن البلازما تكون شبه متعادلة ، لذلك فإن القياس المجهرى لتأثير البلازما ( $L$ )

يكون  $L \gg \lambda_D$  عندما تظهر البلازما طبيعية ( تدعى البلازما الغير طبيعية عندما تحتوي على مجالات كهرومغناطيسية متقاطعة مع الجسيمات شبه المتعادلة ) .

أما الخط المستمر يمثل توزيع الجهد للجسيمات المشحونة في الفراغ .



شكل رقم ( 2-1 ) يمثل توزيع الجهد للجسيم مشحون في الفراغ ( الخط المستمر ) والبلازما ( بالخط المنقط )

### 5-1 عامل البلازما : The plasma parameter :

إن عامل البلازما  $N_D$  يوضح عدد الجسيمات في كرة ديبياي، ويمكن تشبيهه شحنة الايون الأحادي في البلازما بذرة الهيدروجين ( $n=n_i=n_e$ ) و  $N_D$  تعطى بما يلي :

$$N_D = n \frac{4}{3} \pi n \lambda_D^3 \quad (9-1)$$

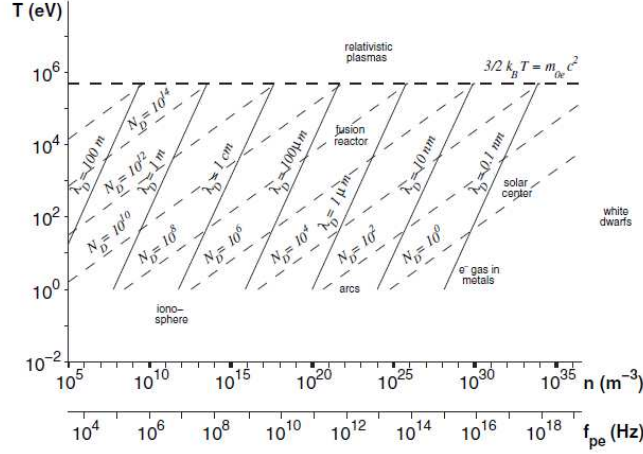
$$\lambda_{De,i} = \left( \frac{\epsilon_0 k_B T_{e,i}}{n e^2} \right)^{1/2} \quad \text{مع (10-1)}$$

ويمكن تطبيق مسافة الجسيم ( لنصف قطر ويكنر يستيز Wigner – Seitz ) والذي يتمثل :

$$\alpha = \left( \frac{4\pi n}{3} \right)^{-1/3} \quad (11-1)$$

$$N_D = \left( \frac{\lambda_D}{\alpha} \right)^3 \quad (12-1)$$

ويمكن أظهار مخطط عامل البلازما في أنواع أبلازما بشكل رقم ( 3-1 ) وتوضح الخطوط الثابتة لقيمة نصف القطر ديبياي  $\lambda_D$  والخطوط المنقطة هي عامل البلازما  $N_D$ .



شكل ( 3-1 ) الخطوط الثابتة لطول ديبي  $\lambda_D$  مع عامل البلازما  $N_D$  للخطوط المنقطة لأنواع مختلفة من البلازما

### 1-6 وجود البلازما و معادلة ساهي: Suha equation

أن الإلكترونات في الذرة ترتبط بقوة مع النواة ومع بعضها البعض نسبة إلى الكثافة العليا للبلازما ، وتفصل بقوة عن بعضها البعض بسبب السرعة العالية للجسيمات الحارة . وبواسطة التمثيل الضوئي أو التوزيع الكهربائي تتحطم خواص البلازما انتهائها .

أن البلازما هي أكثر الحالات السائدة في الكون من حيث الحجم والكتلة فكل النجوم عبارة عن بلازما وحتى الفضاء الموجود بين النجوم مملوء بالبلازما ، وتم تقدير حسابات المواد التي ليست بحالة البلازما في المنظومة الشمسية وكوكب المشتري هي بحوالي 5.1% من الكتلة و (1.0-15.0) % من الحجم ضمن مدار الكوكب بلوتو .

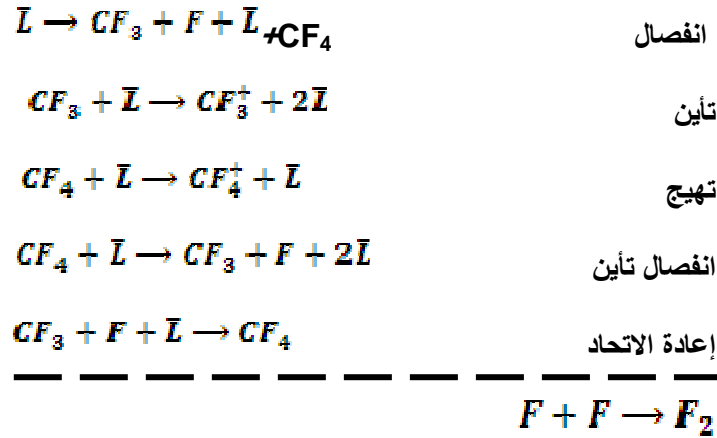
أن وجود البلازما بشكل طبيعي على سطح الكرة الأرضية يقتصر على عملية تأين جزيئات الهواء المحيطة بالكرة الأرضية والناتج عن سقوط الأشعة فوق البنفسجية على الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض كما يحدث في منطقة الأيونوسفير ، أما على سطح الأرض فلا يمكن أن تتواجد البلازما إلا في المختبرات أو الحجلات الصناعية . وفي حالة التوازن الحراري يمكننا إيجاد نسبة التأين المتوقعة في الغازات وذلك باستخدام معادلة ساهي وكما توضحه المعادلة التالية :

$$\frac{N_i}{N_n} \approx 2.4 \times 10^{12} \frac{T^{3/2}}{N_i} e^{-V_i/KT} \quad (13-1)$$

أن معادلة ساهي فيزيائياً تعني أن ذرات الغاز تمتلك طاقات حرارية منفصلة وعندما تكون هذه الطاقات قليلة فإن التصادمات الطاقية (Energetic Collision) سوف تكون نادرة الحدوث لأن الذرة يجب أن تكون معجلة الطاقة أعلى من معدل طاقة التأين بواسطة التصادمات ، أما عندما تكون الطاقات الحرارية عالية فإن الذرة تتأين عند تصادمها مع الكتلونات طاقة عالية . والجزء الأسوي  $e^{iV_i/KT}$  يوضح أن عدد الذرات ذات السرعة العالية تهبط أسياً مع  $(K_i/V_i)$  وأن الذرة المتباعدة تبقى مشحونة حتى تلتقي مع الإلكترونات وتعيد اتحادها معه لتصبح متعادلة مرة أخرى ، أن معدل إعادة الاتحاد (Recombination Rate) يكون معتمداً على كثافة الإلكترونات التي يمكن جعلها مساوية لـ  $(N_i)$  لذلك فإن تعادل كثافة الايون سوف يقل مع  $N_i$ .

مما تقدم فإن معادلة ساهي تبين أن ارتفاع درجة حرارة الغاز تؤدي إلى زيادة كثافة الجسيمات المتأينة وبعد أن يتجاوز درجة الحرارة لطاقة التأين تسمى في هذه الحالة البلازما ، وقد تكون هذه البلازما ضعيفة أو جزئية أو كاملة التأين اعتماداً على  $(N_i)$  (كثافة الجسيمات المتأينة) . ولتوليد البلازما مختبرياً نقوم بتسليط فرق جهد على غاز تحت ضغط معين بحيث تكون الطاقة كافية لإثارة (excitation) ذرات الغاز ويزيادة الطاقة يزداد تهيج الجسيمات الذرية أو الجزئية .

ويحصل انفصال لجزيئه الغاز فيؤدي إلى حدوث عملية التأين ولكي تبقى البلازما في حالة شبه مستقرة تنتج عملية إعادة الاتحاد (Recombination) بين الجسيمات المشحونة والمتعادلة حيث تتكون أزواج أيون - إلكترون بشكل مستمر ، وبواسطة عمليات الانفصال والاتحاد لعملية التأين . والشكل رقم ( 4-1 ) يوضح مثال على هذه العمليات .



الشكل رقم ( 4-1 ) يوضح العمليات التي تحدث داخل محيط البلازما  $CF_4$  .

### 7-1 شروط البلازما :

أن البلازما هو غاز شبه متعادل بالنسبة للجسيمات المتعادلة والمشحونة والتي تظهر بسلوك جماعي ، وشبه متعادل يعني أن عدد الايونات والالكترونات متساوية تقريباً غير أن القوى الالكترونية المغناطيسية تبقى خارجاً أو ليس من الضروري أن يكون كل غاز متأين هو بلازما إلا بعد توفر الشروط الآتية :

1- أن يكون طول ديبياي صغيراً جداً عند مقارنته بطول المنظومة أي  $\lambda_D \ll L$

2- أن يكون عدد الجسيمات في كرة ديبياي أكبر بكثير من الواحد ( $N_D \gg 1$ )

$N_D$  : هي كرة ديبياي التي يكون نصف قطرها مساوياً إلى طول ديبياي والتي تحجب المجالات الالكتروستاتيكية التي تنشأ خارجها وعن الجسيمات المشحونة ويمكن حسابها من العلاقات الآتية :

$$N_D = (3/4)\pi n \lambda_D^3 \quad (14-1)$$

3- أن يكون تردد البلازما أكبر من تردد التصادمات بين الالكترونات والدقائق المتعادلة

$$w_{pe} = \left[ \frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0} \right]^{1/2} \text{ rad/sec} \quad (15-1)$$

ولكي تتحقق حالة البلازما يجب أن تكون :



## $\bar{L} > 1$ : زمن تصادم الجسيمات لبلازما

وهذا يعني أن تردد البلازما المشحونة والمتعادلة أعلى من تردد التصادم والذي يمنع اضمحلال السلوك الجماعي .

### **1- 8 أنواع البلازما:**

#### **a- البلازما الباردة ( Cold Plasma )**

وهي غالباً ما تكون متأينة ( غير تامة التأين ) تتراوح درجة حرارتها بين عدة مئات إلى عدة آلاف أو عشرات الآلاف من الدرجات المئوية ويطلق عليها ( التفريغ الغازي الأيوني ) وأن مقياس درجة الحرارة هو ( إلكترون – فولت ) وتقابل تلك البلازما طاقة حركية مقدارها ( 1ev ) ، ويمكن وجودها في فضاء بين النجوم والفراغات العالية .

#### **b- البلازما الحارة ( Hot Plasma )**

وتتصف بأنها تامة التأين وتمثل الوسط الأساسي الذي يمكن أن يحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي والانفصال مثال على ذلك منظومة التوكوماك ( Tok mak ) وتتراوح درجة حرارتها بين عدة مئات وملايين الدرجات الحرارية وبطاقة حركية بحدود ( 10Mev ) وعند الوصول إلى بضع من المئات ( إلكترون – فولت ) لا يمكن احتواء تلك البلازما بأي نوع من الجدران والتي لا تستطيع أن تقاوم الدرجات الحرارية العالية وتتم معالجتها بواسطة احتواؤها بمجالات مغناطيسية وحصرها ضمن خطوط المجال بصورة حلزونية وموجه بمسارات حسابية بحيث لا تتصادم جسيمات بلازما الحادة مع بعضها وبجسيمات أخرى .

أن المكون الرئيسي للشمس و النجوم المضانه من البروتونات والنيوترونات والالكترونات المتفاعلة من البلازما الساخنة . ويمكن أن يلتصق بروتون مع إلكترون مكوناً ذرة الهيدروجين أو قد يساهم مع نيوترون فتتشكل ذرة ديتيريوم وهو النظير الأول للهيدروجين ، ويمكن أن تتفاعل ذرة ديتيريوم مع أخرى لتشكيل ذرة الهليوم .

ويمكن أن تظهر نواتج أخرى في حالة الاندماج العالية مثل تكون ذرة التريتيوم وهو ناتج من اندماج نيوترونين مع بروتون لنظير الهيدروجين ، وأغلب ما تجري هذه التفاعلات النووية في داخل الشمس والتي تشكل مصدر من مصادر الطاقة العظمى ( الطاقة الناتجة من تغيرات الكتلة نتيجة التفاعلات النووية تساوي التغير في الكتلة مضروباً بمربع سرعة الضوء ) ، وقد يكون هذا التغير كبير فيكافئ جسيماً جديداً ينتج عن التفاعل ( مثلاً بروتون أو إلكترون أو نيوترون ) وقد يكون صغيراً فيصدر على هيئة أشعاع كهرومغناطيسي .

ومن خلال ذلك يمكن إنتاج بلازما شديدة البرودة باستخدام الليزر لإسكاف وتبريد الذرات المحايدة إلى درجة حرارة ( 1 ملي كلفن ) أو أقل وليزر أخر يأتي الذرات بواسطة إعطاء الالكترونات إلا بعد إعطاء طاقة كافية للخروج من محلها الذري .

ويمكن أن تتصف البلازما شديدة البرودة بما يلي :

**1-** تكون معالجة لتنظيم الذرات بدقة بواسطة الليزر .

**2-** السيطرة على الطاقة الحركية الالكترونية المتحررة باستخدام ليزر نبضي معين .

**1-** إنتاج طاقة الكترونية بدرجة حرارة قليلة نسبياً . فالأيون يحافظ على درجة حرارة تساوي ( 1 ملي كلفن ) في الذرة المحايدة وهذا النوع من البلازما ينشأ بسرعة .

