

تظهر المادة بثلاث حالات وهي الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية و في السنوات الأخيرة بدأ اهتمام العلماء بشكل خاص 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 الالكترونات 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 صفرا 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 (وتونكس عام 1929 باي حالة والبلازما تملك I.langmuir), وقد وضح لانغيمور (πλασμα المنظم) Callactiv-behever وتسلك سلوك جماعي quasanataral صفتين وهي شبه متعادلة كهربائياً

في الوقت الحالي فان التكنولوجيا الكهربائية للمواد الفلزية الصلبة تستعمل كموصلات كهربائية وتحتوي على الالكترونات حرة تتحرر بقوى مرتبطة مع الكثافة العالية , وإن الذرات في تلك الفلزات مضغوطة بشكل كبير بحيث أن أغلفة الالكترونات تتحطم في حين أن الالكترونات في البلازما تكون مفصولة بقوى 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 الالكترونات 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 يميزه بالضوء الأصفر. وان درجته الحرارية تصل لعدة درجات أو الألاف 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 الايونوسفير والتي تكون مسئولة عنالاتصالتراديوية البعيدة المدى.

و عند 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 الالكترونات في الذرة تنجز حركة اهتزازية توافقية ولكن في البلازما الالكترونات 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 الالكترونات الحرة لكي تخضع لانضباط الصلابة هو المجال المغناطيسي. في الذرات والالكترونات والنويات التي تتجمع بهيئة عناقيد في مجاميع صغيرة ,وفي البلورات الصلبة تتواجد

النويات والالكترونات في مواقع ثابتة. بينما في البلازما الممغنطة فإن الالكترونات والنويات تتحرك بشكل جماعي و متماسك ,

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 تنتشط 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 (وهذا يعني أن قراءة العشرات أو المئات أو  $11.600^{\circ}\text{C}$  الحرارة بوحدة فولت- إلكترون والتي تساوي) آلاف من الدرجات المئوية 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 تصطدم مع جسيمات أخرى إلا في بعض الحالات النادرة , وكلما تطول فترة عدم الانقطاع فإن الجزيئات لا تضرب 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 لنتصور سلسلة أو تسلسل من الشاحنات المتحركة في خط منتظم على طول الخط السريع فإذا واحدة من هذه الشاحنات تضطرب فيؤدي ذلك الى 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 فانه سوف ينتشر بشكل تدريجي على كامل السلسلة. إن هذا التأثير والذي سببه الاضطراب الصغير يدعى عدم الاستقرار في البلازما وأن الاستقرار 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 ولا تنتقل طاقتها من الجدران. وأن العقبة الرئيسية في المصيدة المغناطيسية المثالية هو مشكلة عدم الاستقرار, وعدم وجودها فان احتواء البلازما يمكن أن يحل بأي من الخطط المتعددة, و لنتصور أنبوب مملوء بالبلازما بين قطبي الكاثود والانود أي تكون بتوصيل هوائي ففي 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 بحريه 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 طريقة المصيدة أو

(Toras. الشبكة المغناطيسية من نوع أملف الحلقي )

## الثانية:

يمكن تثبيت المجال المغناطيسي الأقوى عند نهايات الأنبوب وهذا المجال يعمل مثل كابح 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 تصطدم بالجدران يمكن حصرها بطريقة منتظمة خلال المصيدة (المشبك) المغناطيسي . مع ذلك عدم الإستقرارية دائما متواجدا , إن هذه الحالة شبيهة بقيادة أو تعليم الأطفال للعبور من مناطق العبور . إن الأيونات والإلكترونات تتحرك حول جميع الاتجاهات وتصطدم 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 دائمي 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 الإستقرارية 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 تصطدم 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 يحرق 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 .