بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

بحث تكميلي لنيل درجة ماجستير العلوم في الفيزياء

بعنوان:

دراسة اللوحات الفنية باستخدام تقنية اطياف البلازما المستحثة بالليزر

Studying Art boards Using Laser-Induced Plasma Spectrometry

إعداد :

محمد يوسف الشيخ يوسف

المشرف:

د/ أمل عبدالله أحمد

أبريل 2017

الاهداء

إليكم ....

الي تلك التي تحت قدميها الجنة ... أمي الحبيبه ....

الي من ،، كد وشقى من أجلِنا ... أبي العزيز ...

إلي ....

أخواني، أخواتي، أصدقائي، زملائي، أساتذتي الأجلاء ...

إليكم جميعاً

أهدي هذا البحث المتواضع راجياً من المولى عز وجل أن يجد القبول والنجاح

الشكر والعرفان

الحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه ملء السموات والأرض وما بينهما بعد الحمد والثناء على المولى عز وجل – نزف أسمى أيات الشكر والعرفان لجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا لما قدمته لي من عون ومساعجة طول فترة الدراسة وأخص بالشكر الدكتورة **أمل عبدالله أحمد**المشرف على هذا البحث الذي كان دافعاً لي، أسأل الله ان يجزيها خير الجزاء.

والشكر موصول لكل من ساهم وقدم المساعدة في هذا البحث .

الأيه

قال تعالي:

﴿هوَ الَّذي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالقَمَرَ نُوراً وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِنِينَ وَالحِسَاب مَا خَلَقَ الله ذلكَ إِلاَّ بِالحقِّ يُفصِّلُ الأياتِ لِقَومٍ يَعْلَمُون) (5)

صدق الله العظيم

سورة يونس

المستخلص

تركيز الالكترونات ودرجة حرارة البلازما المتولدة بالليزر أعلي بكثير من تركيز الالكترونات ودرجة حرارة البلازما المتولدة بالانفراغ الكهربي لذا يعد الليزر مصدرا منفصلا لدراسة أطياف ، ان دراسة اللوحات الفنية باستخدام اطياف البلازمة المستحثة بالليزر افضل بكثير من الطرق الكيميائية و الميكانيكية لان المنظفات الكيميائية قد تستمر حتى سنتين بعد إستخدامها مما يجعل التنبؤ بالنتيجة النهائية صعبة للغاية لكن الصعوبة تكمن فى إختيار الليزر المناسب لكل مهمة، لكن في التحليل الطيفي باستخدام مطياف الليزر يسلط ضوء الليزر على العينة ويحصل على ضوء يمكن ان يحلل بواسطة المطياف الضوئي.

Abstract

The concentration of electrons and the temperature of the laser-generated plasma is much higher than the concentration of electrons and the temperature of the plasma generated by electrostatic discharge. Therefore,studing artboards using laser-induced plasma spectroscopy is much better than the chemical or mechanical methods because chemical detergents can last up to two years after use, Very difficult, but the difficulty lies in the choice of laser suitable for each task, but in spectral analysis using a laser spectrometer illuminates the sample and obtains alight that can be analyzed by the optical spectrometer.

الفهرس

رقم	الموضوع	رقم الصفحة
	الاهداء	.i
	الشكر والعرفان	.ii
	الاية	.iii
	المستخلص عربي	.iv
	المستخلص انجليزي	.v
	الفهرس	.vi
	الجداول	x
	الاشكال	Xi
	الباب الاول: المقدمة	
1-1	مقدمة تاريخية	1
2-1	مشكلة البحث	1
3-1	الهدف من البحث	1
4-1	الدراسات السابقة	2
	الباب الثانى : الليزر	
1-2	مقدمة	5
2 - 2	تعريف الليزر	5
3-2	أسس عمل الليزر	6
1-3-2	الامتصاص	6
2 - 3- 2	الانبعاث التلقائي	7
3-3-2	الانبعاث المستحث	8
4-2	معاملات أنشتاين	8
5-2	التعداد المعكوس	11

6- 2	الضخ	11
7-2	مكونات المنظومة الليزرية	11
1-7-2	الوسط الفعال	12
2-7-2	مصدر الطاقة	12
3-7-2	حجرات الرنين " المرنان	13
8-2	خصائص شعاع الليزر	13
1-8-2	أحادية الطول الموجى	13
2- 8 -2	الترابط	14
3-8-2	الاتجاهية	14
4-8-2	الشدة العالية	15
9-2	أنواع الليزرات	15
1-9-2	الليزرات الصلبة	15
2-9-2	الليزرات الغازية	16
3-9-2	الليزرات السائلة	17
4-9-2	الليزرات شبة الموصلة	17
10-2	تصنيف الليزر وفق خطورتة	18
11-2	الامان الليزرى	19
	الباب الثالث : البلازما	
1-3	مقدمة البلازما	21
2-3	تعريف البلازما	21
3 -3	أشكال البلازما	23
4-3	خصائص ومعالم البلازما	24
1-4-3	درجة تأين البلازما	24
2-4-3	الحرارة	24
3-4-3	الجهد الكهربى	25
5-3	طول العزل لديباى	26
6-3	مقدار البلازما	28

7-3	البلازما الممغنطة	28
8-3	مقارنة بين البلازما والغاز العادى	29
9-3	الوصف الرياضي للبلازما	30
1-9-3	نموذج الموائع	30
2-9-3	النموذج الحركى	31
10-3	البلازما والمجال المغنطيسى	31
11-3	الموجات فى البلازما	33
1-11-3	الموجات الصوتية المغناطيسية	33
2-11-3	موجات الفن	34
3-11-3	الموجات الراديوية	34
12-3	حصر البلازما	35
1-12-3	جهاز التوكاماك	35
2-12-3	مراة الترادف	35
13-3	الاندماج النووى	36
	الباب الرابع: أطياف البلازما المستحثة بالليزر	
1-4	مقدمة	38
2-4	علم الاطياف	38
3-4	المطياف الضوئي	40
4-4	التحليل الطيفى بالليزر	41
5-4	أنواع التحليل الطيفي بالليزر	42
1-5-4	أطياف رامان	42
2-5-4	أطياف الفسفرة	42
6-4	مقدمة أطياف البلازما المستحثة بالليزر	43
7-4	فكرة عمل تقنية أطياف البلازما	43
8-4	أجزاء منظمة تقنية البلازما	43
9-4	تطبيق دراسة الرسومات الفنية بتقذية اطياف البلازما المستحثة بالليزر	46

10-4	الخاتمه	47
11-4	التوصيات	48

الجداول

رقم	الموضوع	رقم الصفحة
1-3	أشكال البلازما المختلفة	23
2-3	المقارنة بين البلازما والغاز الاعتيادى	29

الاشكال

رقم	الموضوع	رقم الصفحة
1-2	إمتصاص طاقة الفوتون	6
2 -2	الانبعاث التلقائي	7
3-2	الانبعاث المستحث	7
4-2	مكونات المنظومة الليزرية	11
5-2	الفرق بين الضوء العادى والليزر من حيث الطول الموجى	13
6-2	ترابط وتزامن الموجات الضوئية	14
7-2	تشتت الضوء العادى واتجاهية ضوء الليزر	15
8-2	نطاق التكافؤ والتوصيل ومستوى فيرمى لشبة موصل	18
1-3	قطبان كرويان مغموران فى البلازما	27
2-3	خطوط المجال المغناطيسي خلال كرة بلازمية بين قطبي مغنطيس	32
3 -3	موجات صوتية من غازحار أو بلازما	33
4- 3	موجة صوتية من البلازما بوجود مجال مغنطيسي	34
5-3	إزاحة طبقة من البلازما يولد تشوه فى خطوط المجال المغنطيسي	34
1-4	تركيب الذرة	39
2-4	المطياف البيانى	41
3-4	أطياف رامان	42
4 -4	أجزاء تقنية أطياف البلازما	45
5-4	التحليل الطيفى المستحث	45

الباب الاول

المقدمة

1.1 مقدمة الضوء

نعلم أن الضوء هو عبارة عن تذبذب مجالين متعامدين احدهما كهربى والاخر مغناطيسى. والليزر ما هو الا عبارة عن ضوء له خصائص مميزة تجعل شدة اشعاعه (الطاقة لكل وحدة مساحات لكل وحدة زمن) تزداد بزيادة المجال الكهربى والمغناطيسى لموجاته. ولكن هل يمكن أن يكون الضوء الناتج من اشعة الليزر أقوى من الأجسام الصلبة إن شدة المجال الكهربى لشعاع الليزر تبلغ $5 \times 10^{11} \frac{\mathrm{v}}{\mathrm{m}}$ عندما تكون شدة اشعاعه $23 \times 10^{20} \frac{\mathrm{w}}{\mathrm{m}}$ ، وفى أيامنا هذه تصل شدة اشعاع بعض انواع الليزر إلى مايقارب $2 \times 10^{20} \frac{\mathrm{w}}{\mathrm{m}}$. وبالمقارنة بشدة اشعاع مصباح كهربى عادى (60w) على بعد متر او مترين فهى لا تزيد عن $20.1 \frac{\mathrm{w}}{\mathrm{m}}$. حيث أن المجال الكهربى لهذه الاشعة يفوق بكثير المجال الكهربى الذى يربط ذرات المواد الصلبة بعضها ببعض وبذلك فإن المجال الكهربى لشعاع الليزر سوف يؤثر على الكترونات المواد الصلبة ويفصلها عن الذرات تاركا أيونات موجبة. وبهذا يحول الليزر جزء من المادة الصلبة إلى حالة بلازما. أنه يمكن استخدام اشعة الليزر المركزة لانتاج بلازما عند درجات حرارة عالية جدا داخل المختبر وبتكلفة قليلة.

ولهذا النظام العديد من التطبيقات الهامة فى مجال الفيزياء الفلكية حيث يتم اختيار نوع مادة الهدف وتصميمه بشكل هندسى معين حتى تكون البلازما الناتجة فى المختبر مشابهة لظروف البلازما الحقيقية للنجم المراد دراسته. بالاضافة إلى ذلك فإن البلازما تستخدم فى العديد من الصناعات.

2.1 مشكلة البحث

إن وجود تلف في بعض القطع الاثرية و اللوحات الفنية علي مر العصور قد تكون مصحوبة ببعض الاتربة وقد تلتصق بسطح القطعة مما يتسبب بتعتيم بسيط في اللوحة ويجعل للقطعة الاثرية أو اللوحة الفنية باهتة اللون وبدون رونق وعند إستخدام بعض المواد الكيميائية كمنظفات لازالة الطبقات التى ترسبت علي اللوحة قد تتفاعل هذه المواد مع مواد اللوحة الفنية او القطعة الاثرية , لذا كان من الضرورى إيجاد طريقة علمية مؤسسة ومدروسة وذلك بإستخدام تنقية اطياف البلازما المستحثة بالليزر.

3.1 الهدف من البحث

إستخدام تقنية اطياف البلازما المستحثة بالليزر لدراسة الرسومات الفنية .

4.1 الدراسات السابقة

1.4.1 الليزر و التحليل الطيفي لمستحضرات التجميل

ان التحذيرات من احتواء بعض مستحضرات التجميل على مواد سمية و خاصة الرصاص، ليست جديدة. انما الجديد في دراسة أجراها فريق بحث في جامعة الملك فهد للبترول و المعادن في مدينة الظهران السعودية، و جامعة أم القرى في مكة الكرمة ، و نشرت في 15 مارس 2010 ، هو استخدام تقنية التحليل الطيفي بواسطة الليزر Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) لتعيين تركيز عدد من العناصر السميّة ، مثل الرصاص، الكروم، الكادميوم و الزنك في أربعة ماركات مختلفة من حمرة الشفاه التي تباع في السوق المحلي. هذه التقنية تعتمد تحليل طيف الانبعاث الصادر من بلازما نقطية ، تتكون نتيجة تسليط نبضات شعاع ليزري على العينة . فعندما يسلط شعاع الليزر على نقطة صغيرة من المادة المراد تحليلها، فانها تسخن و تتبخر و تتحلل الى مكوناتها من العناصر التي تستثار و تتأين مكونة بلازما صغيرة جدا و عمرها قصير جدا أيضا ، حيث تبدأ بالتمدد وفقد درجة حرارتها وتنبعث نتيجة لذلك أشعة ذات أطوال موجية محددة لكل عنصر . بواسطة ترتيبات بصرية تجمع هذه الأشعة لتأخذ طريقها الة مطياف يحللها ثم الى جهاز كمبيوتر ، يظهرها على هيئة طيف ، بتحليله يمكن الكشف عن وجود و تركيز عنصر ما في العينة ، بدقة عالية. و من ميزات هذه التقنية أنها لا تتطلب تحضير للعينه و لا تغير من طبيعة المادة فيها، و يمكن أن تكون العينة صلبة أو سائلة أو غازية، فقط لكل نوع تلزم بعض الترتيبات في القياس تتناسب مع ظروف التجربة. كما أنها تعطي نتيجة مباشرة و سريعة ، و تأتي أهمية الدراسة السعودية كون مادة

حمرة الشفاة هي بين السائل و الصلب، و قد نجح فريق البحث في اعداد ترتيب ملائم لمثل هذه المادة ، و قد أجرى كذلك اختبارات تأكيدية للنتائج بواسطة وسائل أخرى معتمدة للكشف عن العناصر في مثل هذه العينات.

اعتمد فريق البحث على أربعة ماركات من أحمر الشفاة تباع في السوق المحلي السعودي، اثنتان من الأنواع الرخيصة و الأخريان من الماركات المعروفة غالية السعر و قد خلصت الدراسة الى أن تركيز بعض هذه العناصر مثل الرصاص، الكروم و الكاديميوم في عينات أحمر الشفاة ، و خاصة تللك الرخيصة منها، كانت أعلى بكثير من الحد الآمن المسموح به من قبل مؤسسات عالمية مثل FDA و ROHS . و تدل النتائج أن الاستخدام المستمر لهذه المستحضرات يمكن أن ينتج عنه زيادة في مستوى تلك المعادن في الجسم البشري عن الحدود المسوح بها. ان استعمال هذه المستحضرات قد تكون أحد أسباب التسمم بالرصاص، الكاديميوم و الكروم لدى المرضى الذين تظهر عليهم أعراض التسمم بالرصاص ، في المملكة العربية السعودية، حسب رأي الدراسة[1] .

1.5.2 إستخدام تحليل الليزر لدراسة الرسومات الفنية

لفهم كيف يستخدم تحليل الليزر بطريقة عملية، افترض انه في متحف يمتلك لوحة فنية ثمينة تعود للقرن السابع عشر، وبمرور السنين جرت العديد من عمليات الصيانة والترميم على اللوحة مما أضاف طبقة جديدة قد تكون غير مرئية فوق الألوان الأصلية التي استخدمها الفنان. بالإضافة إلى ذلك فان التراب والدخان ممكن تكون قد التصقت بسطح اللوحة، مما سببت تعتيم بسيط للوحة جعلت من القطعة الفنية تبدو باهتة بدون رونق أو جاذبية. فقررت إدارة المتحف أن تقوم بتحليل هذه اللوحة لفهم ماذا حدث لها عبر السنوات الماضية وما هي المواد التي ترسبت فوق اللوحة.إن استخدام أي نوع من المواد الكيميائية كمنظفات لإزالة الطبقات التي ترسبت على اللوحة قد يصيب اللوحة بضرر بالغ حتى لو كان استخدام هذه المنظفات يتم بعناية فائقة فانه لا يمكن لا احد ان يعرف اذا كانت عملية التنظيف هذه لن تؤثر على الألوان الأصلية للوحة. ولكن باستخدام تقنية الطيف المستحث بواسطة الليزر laser-induced breakdown spectroscopy يمكن ان تتم عملية التنظيف بدون ان تمس الألوان الأصلية للوحة، بحيث تؤخذ اللوحة الأصلية لجهاز الطيف المستحث بواسطة الليزر وتمسح كل سنتمتر فيها ليتم تحليله. وبقيام الليزر بانتزاع طبقات رقيقة من سطح اللوحة وبدارسة الطيف المنبعث من البلازما المتكونة نتيجة للانتزاع يمكن تحديد بدقة نوع الجزئيات الموجودة على اللوحة والتي

يجب التخلص منها. على سبيل المثال، عندما نحلل مساحة من اللوحة ذات لون ابيض، فإننا نعرف نوع الأصباغ المختلفة المستخدمة فيها. فمثلا اذا احتوت هذه الأصباغ على عنصر الرصاص وأخرى احتوت على عنصر التتانيوم. فان التتانيوم لم يكون متوفر في الأسواق حتى العام 1920 فنستطيع ان نعرف ان التتانيوم جاء نتيجة عمليات الترميم التي قام بها فنيو المتحف أوقات سابقة. وليس هذا فحسب حيث يستطيع المختص ان يعرف أيضا بدقة سمك كل طبقة والطبقة التي تليها من خلال دراسة طيف الانبعاث وتحليله فاذا تغير الطيف يعرف انه انتقل لطبقة جديدة.في الواقع بدأ استخدام تقنية الطيف المستحث بواسطة الليزر LIBS على مساحات صغيرة من لوحات فنية ولكن في القريب العاجل سوف يصبح استخدام هذه التقنية وسيلة معتمدة لتحليل اللوحات الفنية واستعادتها إلى أصلها. وذلك من خلال إزالة الطبقات الغير مرغوب فيها طبقة طبقة حتى الوصول إلى الطبقة الأصلية للوحة الفنية [2].

5.1 محتوى البحث

يحتوى البحث علي أربعة ابواب ، الباب الاول يحتوى علي مقدمة البحث ، والباب الثانى عن الليزر,اما الباب الثالث إحتوي علي البلازما , في الباب الرابع إحتوى علي أطياف البلازما المستحثة بالليزر.

الباب الثاني

الليزر

1.2 مقدمة

لقد اسهم تطور علم الفيزياء في مطلع القرن العشرين من اكتشاف اشعة الليزر على أفرع العلوم الأساسية ، كالكيمياء و الجيولوجيا ، و أفرع العلــوم التطبيقية كالطب والهندسة بصفة عامة ، وعلى علم البصريات و الفيزيــاء بـصفة خاصة .

ولقد تنبأ أنشتاين Einstein في عام 1916 م بأن الإلكترونات تستطيع أن تطلق نوعاً خاصاً من الضوء ، ولكن لم يحدث إلا في شهر يوليــو من عــام 1960 م عندما نجح العالم ثيودور ميمان Theodorwe H. Maiman فــي توليـد شــعاع ضوئي قوي نفاذ من ياقوتة حمراء تغطي الفضة طرفيها ويــسقط عليها ضوء غامر من مصباح أنبوبي زجاجي يحيط بها . فعندما سقط ضوء المـصباح على الياقوتة أهاج ذراتها و إنبعث منها وميض انتشر في طرفيها ليصطدام بالفضة التي عكسته كالمرآة فتردد ذهاباً وإياباً وإنطلق شعاع لامع من الضوء الأحمر من نوع غير معهود من قبل. دفع هذا الاقتراع التطور السريع في حقل الإلكترونات وصمم أول جهاز ونفذ عام 1959 م بواسطة عالم إيراني يعيش في الولايات المتحدة وكان جهاز هليوم نيون (He-Ne) أي أن المادة الفعالة هي خليط من غازي (He- Ne) في أنبوبة طولها (4 cm) وقطرهــا (1 cm) وكان العالم الأمريكي شاولو قد سبق وأثبت إمكانيــة الحصول على أشعة الليزر بالحسابات النظرية [3].

2.2 تعريف الليزر

هو شعاع ضوئي قادر على فك الطلاسم المحيرة لما يتفرد به من خواص فيزيائية فريدة والذي زودنا بحلول سحرية في مختلف التطبيقـــات منـذ اختراعه عام 1960 . إذ تتمكن الليزرات عالية القدره من تدمير الطائرات خلال تحليقها وتقطع الفولاذ الصلب وكأنه قطعة من الجبنه . إما الأكثر دقة فهـــي التـــي يـستخدمها الجراحون في المجالات الطبية . وكلمة ليزر LASER مشتقة من اوائل كلمات العبارة

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع . وهنالك تعريف آخر لليزر :

فهو الجسم المشع للـضوء مـع اسـتخدام التغذيـة العكـسية لتكبيـر الضوء المـشع .

Light Emitting Body with reed back for amplitying the Emitted light

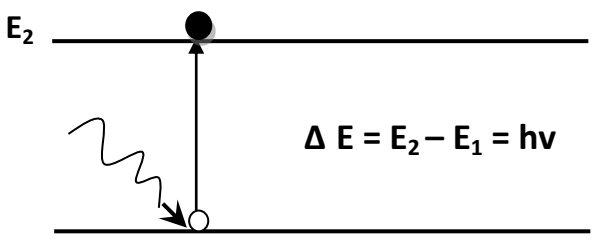
إذن أشعة الليزر هي أشعة ضوئية يتم تكبيرها وتركيزهـا لتـصبح ذات قـدره عالية [4].

3.2 أسس عمل الليزر Principles of Leser Action

إن كلمة ليزر تنطوي على مبدأ مهم وهو التضخيم بواسطة الانبعـاث المحفـز بالشعاع وعلى هذا المبدأ يمكن التحدث عن اسس عمل الليزر وهي :

1.3.2 الامتصاص Absorption

إذا توفرت طاقة إثارة كافية يمكن نقل الذرة من المـستوى المـــستقر الـى مستويات طاقة مثارة عليا وبالتالي تزداد طاقة الذرة الداخلية بمقدار الطاقة التـي امتصتها . ويعبر عن الية الإثارة بطريقة التفريغ الكهربائي والناتجة عن تصادم إلكترون مسرع ذو طاقة حركية (K E) مع ذرات المادة[4].

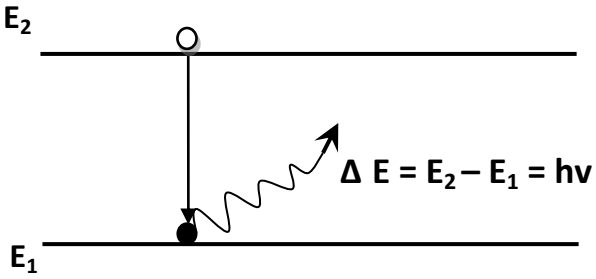


E_1

شكل (1.2) يوضح امتصاص طاقة الفوتون

2.3.2 الانبعاث التلقائي Spontaneous Emission

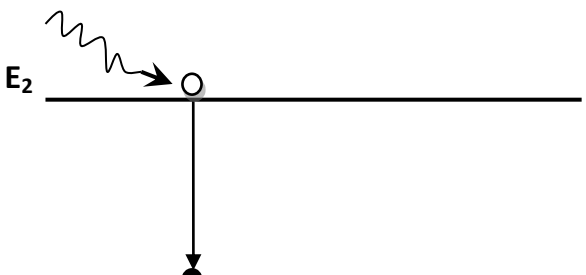
نفرض وجود عدد من الذرات في احد المستويات الطاقية وليكن (E_1) يقع تحت مستوى طاقة أخرى (E_2)، حيث ($E_1 > E_2$) فعند امتصاص طاقة ($E_1 - E_2 = hv$) تنتقل الذرات من المستوى (E_1) الى المستوى (E_2) يليها انتقال من المستوى (E_2) الى المستوى (E_1) فتنبعث فوتونات طاقتها يساوي الفرق بين طاقة المستويين $\Delta E = hv$ عشوائية الطاقة والاتجاه والطور عبر انتقال يسمى بالانتقال التلقائي وهذه خاصية متعلقة بالذرة نفسها ولا تحتاج لمؤثر خارجي [4].

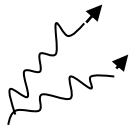


شكل(2.2) يوضح الانبعاث التلقائي

3.3.2 الانبعاث المحفز أو المستحث Stimulated Emission

يلعب هذا النوع الدور المهم فعند اصطدام فوتون طاقته مساوية للفرق بين مستويين للطاقة $\Delta E = hv$ مع الذرة في مستوى طاقة عليا يعمل هذا الفوتون على حث الـذرة على بعث فوتون آخر يملك طاقة الفوتون الأول ويكون في حالة ترابط طوري معه[4].





$\Delta E = E_2 - E_1 = hv$

E_1

شكل (2.3)يوضح عملية الإنبعاث المستحث

أشار انشتاين سنة 1917م الى امكانية حدوث الاصدار المحثوث ، حيث يمكن توليد حزم ضوئية بخواص مضبوطة وذلك بدراسة احصائية كمومية.عند دراسة جملة مكونة من عدد هائل من الذرات ليس بالضرورة ان تكون جميعها ضمن نفس المستوى الطاقي ، حيث يكون هناك توزيع احصائي لتوزيع الذرات ضمن مختلف السويات الطاقية محققا وفق قانون بولتزمان :

$$\frac{Ni}{N} = \frac{Gi \exp(-\frac{Ei}{KT})}{\sum_j Gi \exp(-\frac{Ej}{KT})} \qquad (1.2)$$

حيث Gi هو الوزن الاحصائي الذي يعبرعن طرق توزيع الذرات المختلفة في مستوى الطاقة العلوي والسفلي على الترتيب ، N_i هو عدد الذرات في السوية التالية ، N هو العدد الكلي للذرات في السوية الاساسية . يتطلب التوازن الحراري عند اي درجة حرارة بان تكون السوية ذات الطاقة الاخفض ممتلئة اكثر بالذرات من السوية ذات الطاقة الاعلى ، كون المعامل الاسي صغير [5].

4.2 معاملات انشتاين

معاملات انشتاين تعطي فكرة جيدة عن احتمالية حدوث انتقال الكتروني بين سويات الطاقة ، وبالمقابل تساعد على التنبؤ بامكانية حدوث اصدار تلقائي او محثوث .

A_{21} احتمالية حدوث الانبعاث التلقائي والذي يتعلق بعدد المكونات في السوية الاولى N_1 . يكون معدل التغير في السوية الاولى بالنسبة للزمن سالب ، لانه كلما زاد معدل التغير نقصت N_1

$$dN_1/dt = -A_{21} N_1 \qquad (2.2)$$

B_{12} احتمالية حدوث امتصاص محثوث والذي يتعلق بعدد المكونات في السوية الاساسية . يمكن التعبير عن تاثير عملية الامتصاص على تغير تعداد السوية الاولى :

$$dN_2/dt = + B_{21} N (U) \quad (3.2)$$

كثافة طاقة الاشعاع وتمثل عدد الفوتونات (N) في وحدة الحجم (U) التي تواترها B_{21} احتمالية حدوث الاصدار المحثوث والذي يعتمد على عدد المكونات في السوية الاولى ، اي كلما زاد N_1 كلما زادت عملية الاصدار المحثوث . ويمكن التعبير عن تاثير عملية الاصدار المحثوث على في تعداد المستوى الاول بالمعادلة التالية :

$$dN_2/dt = - B_{21} N (U) \quad (4.2)$$

تمثل المعادلات الثلاثة الحالات المختلفة التي يمكن ان يتفاعل بها الاشعاع الكهرومغناطيسي مع ذرات المادة . وفي حالة الاتزان الحراري عند درجة حرارة T ، فان عدد الذرات N_2 في مستوى الطاقة E_2 يكون ثابتا بحيث :

$$N_2 = \text{constant} \;\&\; dN_2/dt = 0 \quad (5.2)$$

$$dN_2/dt = - A_{21}N_2 + B_{21} N_1 (v) - B_{21} N_1 \quad (6.2)$$

$$(v) = 0$$

$$N_2 (-A_{21} - B_{21} (v)) + B_{12} N_1 (v) = 0 \quad (7.2)$$

$$N_2 (A_{21}+B_{21} (v)) = B_{12} N_1 (v) \quad (8.2)$$

نحصل على :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\varrho(v)B_{12}}{\varrho(v)B_{12}+A_{21}} \quad (9.2)$$

حيث ان المعادلات الثلاثة الاخيرة تم اشتقاقها تحت شروط الاتزان الحراري ، لهذا فان معادلة ماكسويل بولتزمان محققة :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1}\exp(-\frac{hv}{KT}) \qquad (10.2)$$

بمقارنة اخر معادلتين نجد ان :

$$\frac{g_2}{g_1}\exp\left(-\frac{hv}{KT}\right) = \frac{\varrho(v)B_{12}}{\varrho(v)B_{12}+A_{21}} \qquad (11.2)$$

باعتبار $\frac{g_2}{g_1}=\frac{N_2}{N_1}$ TK >> hv

لذلك :

$$\frac{B_{12}}{B_{21}} = \frac{g_2}{g_1}$$

$$\varrho(v) = \frac{A_{21}}{B_{21}\exp\left(\frac{hv}{KT}\right)-1} \qquad (12.2)$$

حيث تدعى المعادلة الاخيرة بمعادلة انشتاين لاشعاع الجسم الاسود :

$$\varrho(v) = \frac{A_{21}}{C^3\exp\left(\frac{hv}{KT}\right)-1} \qquad (13.2)$$

نحصل على :

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\Pi hv^3}{C^3} \qquad (14.2)$$

تدعى اخر ثلاث معادلات بمعادلات انشتاين ، حيث تسمح المعادلة الاخيرة بحساب نسبة احتمال حدوث النبعاث التلقائي لاحتمال الانبعاث المحثوث من اجل سويتي الطاقة .والنسبة بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المحثوث تتحدد بالعلاقة التالية :

$$R = \frac{A_{21}}{B_{21}}.\frac{1}{\varrho(v)} \qquad (15.2)$$

عند درجات الحرارة المتوسطة ، يكون hv >> KT فيكون الانتقال التلقائي اكثر احتمالا من الانتقال المحثوث الذي يمكن اهماله هنا ، وهذا ينطبق على حالة الانتقالات الالكترونية في الذرات الجزيئات وفي حالة الانتقالات المشعة في النوى . وعندما يكون hv << KT يكون الانتقال المحثوث هو السائد كما هو الحال في مجال الامواج الميكروية من الطيف الكهرومغناطيسي[6].

5.2 التعداد المعكوس Population Inversion

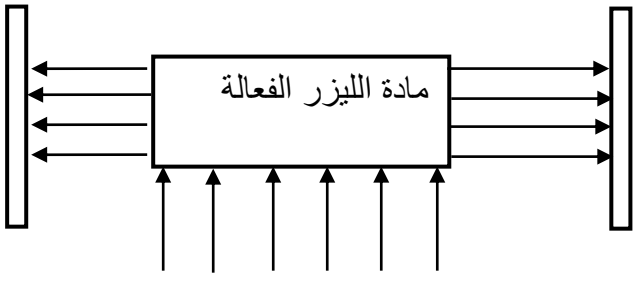
يتطلب انبعاث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا اي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية فيها باستخدام طاقة خارجية مثلا عندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل على انقلاب في التعداد أو عكس التعداد وتحت هذه الشروط يكون احتمال حدوث الانبعاث المحفز كبيراً ويمكن الحصول على فوتونات مترابطة في الطور مع بعضها البعض وقد يحدث الانبعاث المحفز في ظروف طبيعية ولكن في حالات نادرة جداً ويرجع ذلك لقلة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا تحت هذه الظروف . ومن ثم فاحتمال الانتقال يكون صغيراً[6] .

6.2 الضخ Pumping Processes

إن الاجراءات العملية التي تتخذ لتأمين توزيع معكوس تسمى عمليات الضخ ، وإن هذه الاجراءات المتخذة لرفع الطاقة إما أن تكون على شكل وميض يتعرض له الوسط أو على شكل تفريغ كهربي يؤدي فيه امتصاص الكميات أو تصادم الجسيمات لرفع الطاقة حتى تصل التوزيع المعكوس ونجد ان لكل وسط أسلوب للضخ يلائمه ويتم اختيار أوساط التضخيم على أساس عدد المستويات التي تدخل في اجراءات الضخ و اختيار ما يتوفر عملياً من أشكال طاقة الضخ التي تلائمها [4].

7.2 مكونات المنظومة الليزرية

المنظومة الليزرية تتكون من ثلاثة عناصر أساسية كما في الشكل (4.2)



% 100 **% 99**

شـكل (4.2) يوضح مكونات المنظومة الليزرية

1.7.2 الوسط الفعال أو الوسط المادي Material Medium

أي توافر المادة الفعالة بالكمية المناسـبة وقد تكـون مكونــة أو محاطــة بالمرنان ، ومن أمثلة المواد الفعالة الشائعة الاستعمال حاليا :

* البلورات الصلبة : مثل الياقوت الصناعي وعقيق الألمونيوم والزجــاج المــسمي بالياج .

* الغازات المتأينة : مثل غاز الأرجون وغاز الكريبتون .

* الجـزيئات الغازية : مثل غازي اول وثاني أكسيد الكربون

* الصبغات السائلة : وهي صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة في الماء .

*المواد الصلبة شبه الموصله : مثل أرسنيك الجاليوم [5].

2.7.2 مصدر الطاقة (آلية الضخ) Pumping Processes

وهي التي تحدد طريقة الحث لاثارة المادة الفعاله وحثها على بعث إشعاع الليزر . وتتنوع مصادر الطاقة المستخدمة حاليا ومنها

*الطاقة الكهربائية : وتتمثل في إستعمال الطاقة الكهربايئة المباشرة بإسـلوبين مثل استخدام مصادر الترددات الراديوية كطاقة داخلية أو ستخدام التفريق الكهربائي في التيار المستمر مثال ذلك ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون وليزر الهيليـوم – نيون وليزر غاز الأرجون.

*الطاقة الضوئية : والمعروفة بإسم الضخ الضوئي . ويمكن آن تنبعث من مصدرين رئيسيين

إما بإستخدام المصابيح الوهاجة ذات القدرة العالية كما في ليزر الياقوت أو إستخدام شعاع الليزر كمصدر طاقة وهذه شائعة الإستخدام في إنتــاج إشــعاعات ليزرية كثيرة في مناطق الطيف المختلفة ومثال ذلك ليزرات الصبغات السائلة.

*الطاقة الحرارية : يمكن أن يتسبب كل من الضغط الحركي للغازات والتغيرات في درجات الحرارة على حث و إثارة المواد لتبعث أشعة الليزر.

*الطاقة الكيميائية : تعطي النفاعلات الكيميائية بين مزيج من الهيدرجين و الفلور طاقة مسببة لحث هذه الجزيئات على بعث الإشعاع الليزري وكذلك مع خليط فلوريد الديتريوم وثاني أكسيد الكربون مثال الليزرات الكيميائية[4].

3.7.2 حجرات الرنين (المرنان) Resonant Cavities

وهو الوعاء المنشط لعملية التكبير وفي العادة يستخدم إما :

*المرنان الخارجي : وهو مرآتان متوزيتان في نهاية الأنبوب الحاوي للمادة الفعالة . وتكون الإنعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التكبير الضوئي كما في الليزرات الغازية .

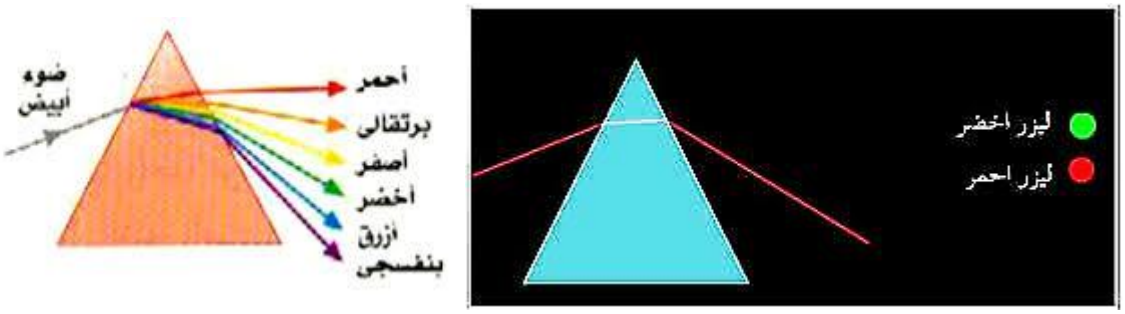
*المرنان الداخلي : ويتمثل في طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة كما في ليزر الياقوت وليزر عقيق الألمونيوم والزجاج وفي الليزرات الصلبة بصورة عامة . وفي الحالتين يجب أن تكون إحدى المرآتين عاكسة كليا للفوتونات الضوئية و الأخرى تسمح بالنفاد الجزئي ليتسلى لشعاع الليزر الخروج خارج المرنان[5].

8.2 خصائص شعاع الليزر

يتميز شعاع الليزر بدرجة عالية من الخصائص الاتية :

1.8.2 أحادية الطول الموجي " اللون " (Monochromatic)

بالمقارنة مع مصادر الضوء العادية كما في الشكل التالي :



شكل (2.5) يوضح بين الفرق بين الضوء العادي وضوء الليزر من حيث الطول الموجي

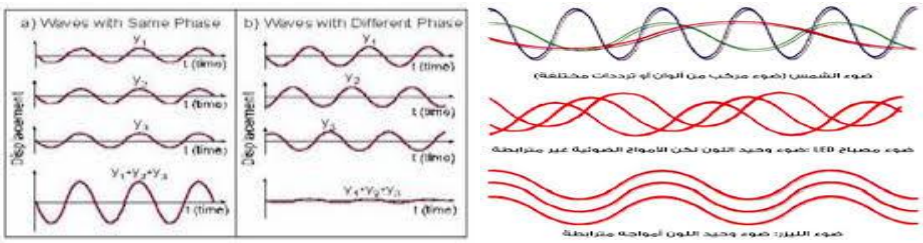
وتعنى أن له عرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد نقي مفرد وتنشأ هذه الخاصية للسبب الاتى

*من الممكن تضخيم فقط الموجات الكهرومغنطيسية ذات التردد U.

بما أن المرآتين تكونان تجويفاً رناناً . فالتذبذب يحدث فقط عند لترددات الرنينية لهذا التجويف وهذه يؤدي الى كون عرض الخط الليزري أضيق بكثير بمقدار ست رتب من عرض الخط العادي[7].

2.8.2 الترابط Coherence

إن الترابط بين موجات الحزمة الواحدة عالي جدا ومتزامن وهذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي قدرة عالية للحزمة الواحدة وهذا الترابط إما أن يكون ترابط تام وفيه فرق الطور بين الموجات يساوي صفر ، وإما أن يكون الترابط جزئي وفيه هنالك فرق في الطور بين الموجات كما موضح في الشكل :

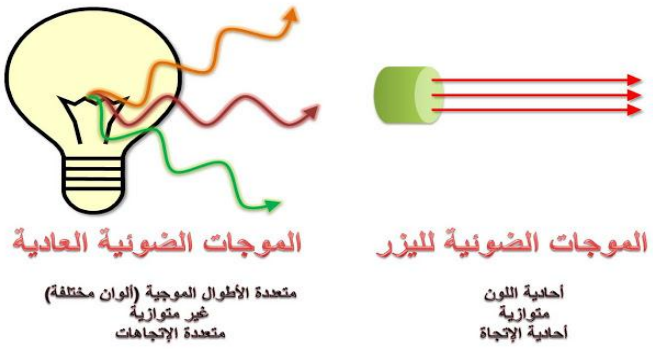


شكل (6.2) ترابط وتزامن الموجات الضوئية

والترابط هو ما يميز ضوء الليزر ويبرز هذا عند حدوث الإنبعاث الحثي الذي يعد عاملاً أساسياً في التكبير للضوء بحيث أن الفوتونات المنبعثة لها فرق ومتوافق مع بعضها . هذا الترابط يوصف على أنه ترابط زمني وترابط مكاني [7].

3.8.2 الاتجاهية Directionality

ان خاصية الاتجاهية هى نتيجة لمباشره لكون ان المادة الفعالة موضوعة فى تجويف رنان مثل التجويف المتكون من المراتين المستويين المتوازيين. والحقيقة ان تكون الاشعة التى تسير علي طور محور التجويف (والتى تسير قريبة منه) هى وحدها التى تطيل البقاء داخل التجويف لعدم وجود عناصر التغذية[7].



شكل (7.2) يوضح تشتت الضوء العادي واتجاهية ضوء الليزر

4.8.2 الشدة العالية High Intensity

يعرف سطوع مصدر الموجات الكهرومغنطيسية بانه القدرة المنبعثة لكل وحدة مساحة من السطح لكل زاوية. وشدة الشعاع عالية ومركزة فى حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز (1 mm) وعند إستخدام البصريات الملائمة يمكن تعريضها وفق الحاجة ، بالاضافة الى اننا نستطيع تركيزها فى بقعة صغيرة تملك قدرة كثافة هائلة ، وتساوى القدرة علي المساحة [4].

9.2 انواع الليزرات Types of Laser

من الانواع الاكثر شيوعا واستعمالا التى تعد خصائصها نموذجية بالنسبة الي جميع اصناف الليزرات وهى التى تصنف على حسب الوسط الفعال

1.9.2 الليزرات الصلبة Solid State Laser

يقصد بليزرات الحالة الصلبة عادة تلك التى يكون الوسط الفعال اما بلورة عازلة او زجاجا، إن ليزرات المواد الصلبة غالبا ما تكون فيها المواد الفعالة عبارة عن ايونات شائبة داخل البلورات الايونية مثل ايونات الفلز الانتقائي (Nd^{+3}) او ايونات الاتربة النادرة(Ho^{+3} Nd^{+3}) . ومن امثلة الليزرات للحالة الصلبة ليزر الياقوت وهو اول انواع الليزرات ويتكون من بلورة AL_2O_2 (الكوندم) والابعاد النموذجية لقضيب الياقوت كالاتى : القطر يتراوح بين 10mm – 5mm أما الطول فيتراوح بين 20cm-5cm والطول الموجى = 694.3nm. إن ليزرات الياقوت تضخ بمصباح زينون وميضى ذى ضغط عالي " ضخ ضوئى ".

وهناك ايضا ليزر النيوديميوم ياك (Nd : YAG) وكلمة ياك متكونه من الاحروف الاولى لـ (Yttrium aluminum gamet) حيث أيونات $Y_2AL_5O_{22}$ حلت محل جزء من Nd^{+3}

أيونات Y^{+3} وتعمل بنظام الموجه المستمره أو النظام النبضي . كما يمكن الحصول على قدرة خارجة أي 150Wمن المرونة و W 700 من المضخات المتسلسلة في حالة التشغيل المستمر و 50mw عند تغير عامل النوعية (QS) بطول موجي 1064nm . كما يصل زمن النبضة إلى حوالي 20 ps في حالة تثبيت النمط , الطول الموجي 1064nm [4].

2.9.2 الليزرات الغازية Gass Laser

يكون إتساع مستويات الطاقة في الغازات نوعا ما قليلا (بحدود بضعة قيقا هيرتزأو اقل) نظرا لأن عمليات الاتساع الخطي أضعف مما هي عليها في حالة المواد الصلبة . يتم عادة تهيج الليزرات الغازية بالطرق الكهربية كما أن عدد من الليزرات الغازية تضخ أخرى تميز الضخ الكهربائي ونذكر منها الضخ بواسطة الضخ الكيميائي والضخ البصري بواسطة ليزر آخر وهذا قليل ونادر .

ومن أمثلة الليزرات الغازية :-

ليزرات الذرة المتعالة (Neutral Atom Laser) يمكن عد ليزر الهيليوم – نيون (He-ne) نموذجا لهذا الصنف من الليزرات ويتذبذب عند أي من الأطوال الموجية الأتية :

λ= 632.8 nm , λ_1=3.39 mμ , λ_2=0.633 μm , λ_3=1.15 μ

بالاضافة الي ليزر He-Ne توجد ليزرات غازية متعادلة الذرات مثل (Ne , He , Xe) وايضا ليزرات اخرى من المعادن مثل (Mn,Sr,Ca,Cu,Pb).

الليزرات الايونية (Ion gas Laser) في حالة الذرة المتأينة تتباعد مستويات الطاقة و هذا يعني أن الليزرات الايونية تعمل في المنطقة المرئية وتقسم الليزرات الايونية الى قسمين

أ- ليزرات الغازات الايونية مثل ليزر أيون الارجون +Ar الازرق 488nm, الاخضر 514.5nm

ب- ليزرات أبخرة المعادن مثل Sn , Pb , Zn, Se .

ليزرات الغازات الجزئية (Molecular Gas Laser) تستخدم هذه الليزرات للإنتقالات بين مستويات الطاقة للجزئية ويمكن تقسيمها على أساس نوع الانتقال المتضمن الى ثلاثة اقسام وهي :

أ- ليزرات دورانية إهتزازية مثل ليزر ثاني أكسيد الكربون CO_2 الطول الموجي 1064nm.

ب- ليزرات اهتزازية إلكترونية مثل ليزر N_2 إن اهم التذبذبات لهذا الليزر تقع عند الطول الموجي 337nm .

ت- ليزرات دورانية نقية تستخدم الانتقالات بين المستويات الدورانية المختلفة بنفس الحالة الاهتزازية والاطوال الموجية العائدة لهذه الانتقالات تقع في المنطقة تحت الحمراء البعيدة و تضخ هذه الليزرات بصريا باستعمال القادح الليزري لليزر آخر مثل (FCH_3 λ=496nm) [3].

3.9.2 الليزرات السائلة (ليزرات الصبغة) Liquid Lasers

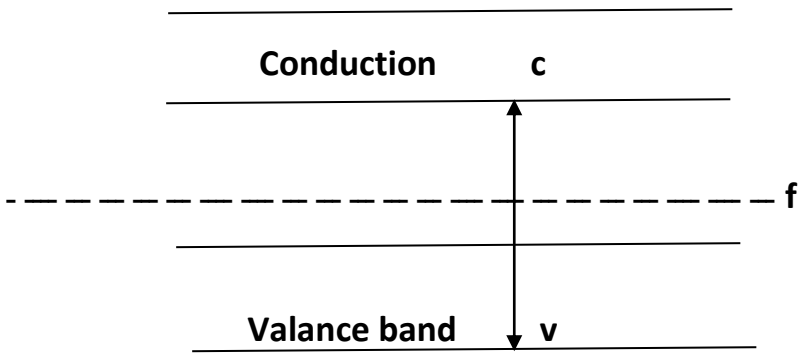
إن في هذا النوع من الليزرات يتكون الوسط الفعال فيها من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مذابة في سوائل مثل كحول اثيلي أوكحول ميثيلي أو ماء . ومن خصائص الليزرات الصبغية انها تمتلك حزم إمتصاص قوية في المنطقة المرئية وفوق البنفسجية من الطيف. ومن مميزات ليزرات الصبغة أن لها الإمكانية لإظهارالفعل الليزري عند الأطوال الموجبة ضمن النطاق الواسع. ويمكن أن يعمل ليزر الصبغة بالنظام النبضي من صبغات عديدة مختلفة بإستعمال مخططات الضخ الاتية :

أ - مصابيح ومضية سريعة .

ب ـ نبضة ضوئية قصيرة من اليزر آخروغالبا ما يستعمل ليزر N_2 لهذا الغرض لأن خرج هذا الليزر يقع ضمن المنطقة فوق البنفسجية UV و هو ملائم لضخ صبغات عديدة تتذبذب في المدى المرئي من الطيف[4].

4.9.2 الليزرات شبه الموصلة Semi conductor Laser

في هذا النوع من الليزرات شبة الموصل لا يمكن الوصف عن دالة موجية لذزة منفردة . بل من الضروري التعامل مع دالة الموجة التي تقود الى التبلور ككل . و كذلك لا يمكن دراسة مستويات الطاقة للذرات المنفردة وعلية إن طيف مستويات الطاقة يتكون من أنطقة واسعة جدا . هذه الأنطقة هي : نطاق التكافؤ (v) Valance Band ، ونطاق التوصيل (c) Conduction Band مفصول احداهما عن الأخر بمنطقة محظورة الطاقات The Band Gab يتكون من كل نطاق في المواقع من عدد كبير من حالات الطاقة المتقاربة جدا كما موضح بالشكل أدناه



شكل (8.2) يوضح نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل ومستوى فيرمي لشبه موصل

ومن مميزات ليزرات شبه الموصل لمادة بتحضير شبه موصل على شكل صمام ثنائي (دايود) على شكل توصيل p-n وتكون المنطقتان من النوع p والنوع n ذات انحلال عال . واول ليزر شبه موصل كان من هذا النوع . إن ليزرات شبه موصل تغطي مدى واسعاً من الأطوال الموجه من حوالي 0.7πm الى 30 πm وفي الوقت الحاضر ربما يعد الـ (GaAs) (0.84πm) اهم ليزر شبه موصل جير ملنيوم – سنليد [4].

10.2 تصنيف الليزر وفقا لخطواته

يعتبراي نوع من شعاع الليزرخطراً على الجسم عند التعرض لشعاعه ، لذا يجب أن يراعي في إستعمال أجهزة الليزر المختلفة الضوابط الأمنية في السلامة عند تشغيله وتجنب التعرض لأشعاعه [5].

يصنف الليزر بناءا على قدرته إلى الأنصاف التالية :

1 – اجهزة الليزر المستثناه (المعفاه) Class (1)

تعد خطره على مساحة الجسم ومثال لهذا النوع ليزر أنصاف الموصلات ولكن لا يجب النظر المباشر لإشعاعه .

2 – اجهزة الليزر ذات القدرة الضئيلة Class (2)

وهو من أجهزة الليزر التي تبعث بشعاع قدرته أقل من 1 ملي وات . تسبب هذه الليزرات أضرارا لشبكة العين عند التعرض لها مباشرة أو غير مباشرة أي بعد إنعكاسها على السطوع البراقة. لذا يجب أن تزود هذه الأنواع بضوء إرشادي ويجب أن يوضع على هذا الصنف إشارة تحذيريه تنبه بخطره

3- الصنف الثالث ينقسم الى قسمين (A) و (B) (3) Class :

يصنف ليزر غاز الهيليوم نيون الذي لا يبعث بأكثر من 4 ملي وات في مجموعة (A) تكون عالية الخطورة على العين ويجب وضع الاشارة التحذيريه Caution على الصنف (B) وهذا الصنف يجب أن يحمل فتحة إغلاق Shutter وضوء إرشادي Pilot light وإشارة خطر Danger ويتم تشغيله تحت إشراف المتخصصين .

4 – الصنف الرابع (4) class

تبعث الليزرات من هذا الصنف بإشعاعات تصل إلى 50watt مثل غاز ثاني اكسيد الكربون المباشر والمنعكس من هذه الليزرات عالى الخطورة على العين والمواضع الأخرى في الجسم اذا تعرضت لفترة معينة يجب أن توضع إشارة الخطر Denger على الاجهزة. ويمنع تشغيل هذا الصنف الا من قبل المتخصصين .

5 – الصنف الخامس (5) Class :

يؤدي التعرض لهذا الصنف الى مخاطرة جسيمة على حياة الانسان والمنشأت فهي تقتل الانسان في أجزاء من الثانية وتسبب الحرائق في المنشأت ومن هذه الليزرات الفائقة القدرة ليزرات غاز ثاني أكسيد الكربون والياج والزجاج والياقوت وتتراوح قدرتها من 10^{9} watt – 150 وغالبيتها مستخدمة في مختبرات الابحات والاستعمالات العسكرية . تحاط هذه الليزرات ذات القدرات العالية جدا بحاجز وقائي دائمي وتفحص دوريا للتأكد من سلامة الحاجز من التلف وعدم تسرب الشعاع منه . ويجب فحص اقفال السلامة في هذه الاجهزة قبل كل عملية تشغل للتأكد من صلاحيتها .

وبصورة عامة لكل نوع يجب إستخدام النظارات الواقية لحماية العين من انعكاسات الاشعاع . وتختلف هذه النظارات الواقية بإختلاف شعاع الليزر وقدرته وطول موجته . ولكل نظاراته الواقية ويجب استخدامها دائما مع عدم التعرض المباشر إلى نوع من أنواع الليزر حتى المنخفضة القدرة [5].

11.2 الأمان الليزري

إن إستخدام أشعة الليزر وكيفية إستخدامها لها مميزات كثيرة لكن لابد من من مراعاة خطورة اشعتة وكيفية أخذ الحذر والحيطة للوقاية منها عند التعرض لها او التعامل معها , ومن هذه المخاطر :

أ- مخاطر الاشعاع .

ب- مخاطر القدرة الكهربية .

ت- مخاطر الإنفجار .

ث- مخاطر التسمم .

لقد درست هذه المخاطر بشكل وافي حتى ذهبت بعض الدول الى وضع تعليمات رسمية تطبق على المنتج والمستهلك غرضها من ذلك السلامة والامانة لجميع العاملين في مختبرات تضم أجهزة الليزر . إن مخاطر الاشعاع يقع تأثيرها وبصورة رئيسية على عين وجلد الانسان اما الخطر الكهربائي فيكمن في فشل عمل بعض أنواع الليزر , كفشل عمل المصابيح الومضية أو إنهيار سلسلة المتسعات الكهربائية ذات الطاقة العالية أوإنفجار في المحاليل الكيميائية . اما مخاطر التسمم فتنتج معظمها عن تعمل أشعة الليزر الموجهه ذي القدرة العالية مع المواد المختلفة التي تقع في طريقها فتؤينها أو تحدث تغييرا في تركيبها تكون بعدها مصدرا للتسمم , كذلك قد تستخدم بعض المواد الكيمياوية كمواد مذيبة أو منشطة لفعالية .ومن وسائل الامان الليزري:

*طلاء منطقة عمل الليزر .

*إخلاء منطقة العمل من العواكس .

*إستعمال النظارات الواقية .

*تجنب التنظر المباشر لإشعاعه .

*وضع الاشارات التحزيرية .

* وضع إشارة الخطر .

*الاستخدام من قبل المختصين .

*الفحص الدوري للأجهزة .

*فحص أفقال السلامة في هذه الاجهزة قبا كل عملية تشغيل للتأكد من صلاحيتها [7].

الباب الثالث

البلازما

1.3 مقدمة

من المعروف أن جالات البلازما ثلاث وهى الحالة الصلبة والسائلة والغازية فى درجات الحرارة العادية ولكن حينما تتعرض المادة الى درجة حرارة عالية جدا مثل باطن الشمس فإن الالكترونات التى تدور حول النواة تكتسب طاقة حرارية هائلة فتتحرر من جذب النواة لها وتبقى النواة بدون بعض الكتروناتها

2.3 تعريف البلازما Plasma Definition

في عام 1979 اكتشف العالم السير وليام كروكس البلازما عن طريق أنبوب كروكس وأطلق عليها آنذاك " المادة الإشعاعية " وإكتشف العالم البريطاني جوزيف طومسون خصائص وطبيعة البلازما عام 1897م ويرجع الفصل في تسمية البلازما الى العالم ايرفينع لا نغموير في عام 1928 م لأنه رأى أنها تشبه بلازما الدم .

البلازما : هي غاز حار جدا مؤين بحيث أن التصادمات الحرارية العنيفة تحلل كل أو اكثير من ذراته الى ايونات موجبة والالكترونات . وإذا ما دعونا الحالات الصلبة والسائلة والغازات بالحالات الثلاثة للمادة فإن البلازما تكون الحالة الرابعة لها . كما يمكن أن ندعوها بالشعلة النقية (Pure Fire) لان الشعلة الإعتبارية تتكون من البلازما وغاز حار . إن اغلب المادة في الكون تكون بحالة البلازما حيث أن 99 % من المادة فيه هي بلازما فالشمس والنجوم هى عباره عن كرات هائلة من البلازما .

وفي بيئتا تكون البلازما نادرة جدا غير أنه من الممكن توليد البلازما صناعيا فالغاز من مصباح الفلورست (Fluorescent Tube) ومصباح النيون هو بلازما . كما أن القوس الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام واللهب الخارج من الصواريخ المنطلقة والكرة الملتهبة المتولدة عن القنبلة الذرية جميعها تمثل البلازما . إن البلازما تكون عادة خليطا من الايونات الموجبة الالكترونات والذرات المتعادلة ودرجة التأين تعتمد على درجة الحرارة فإن كانت درجة الحرارة قليلة فإن البلازما ما تحتوي على عدد كبير من الذرات المتعادلة كهربيا وفي الدرجات العالية تكون جميع الذرات متأينة .

إن الغاز الاعتيادي يحتوي على بعض الايونات والالكترونات ولكنها غير كافية لتجعله بلازما إذا بدأنا بتسخين الغاز الاعتبادي فإننا سنحوله تدريجيا إلى بلازما ولكن الانتقال الى حالة البلازما ليس حادأ كما يحصل في حالة تحول الصلب الي السائل الى بخار . فمثلا لهب الشعمة يقع في الحد الفاصل بين الغاز الحار والبلازما فلو كان يحتوي على عدد أكبر من الايونات لكان بلازما ولو كان فيه عدد أقل منها لكان غاز حار والتمييز بين البلازما والغاز الحار يمكن في خواصها الكهرو مغنطيسية . فالبلازما هي موصل كهربائي ويسيطر على تصرفها مجالان كهربائي ومغناطيسي واضحان بينما الغاز الاعتيادي هو عازل كهربائي ولا يستجيب بشكل واضح لتأثير المجال الكهربائي أو المغناطيسي [9].

إن معيار البلازما (plasma evileron) هو أن وفرة الشحنات الموجبة والسالبة كثيرة لدرجة أن اي عدم إتزان موضعي بين هذه الشحنات غير ممكن فأي تجمع للشحنات الموجبة في مكان ما مثلا سيجذب شحنات سالبة مماثلة لها بالمقدار للحفاظ على التعادل . فى القياسات الصغيرة فإن الشحنات السالبةو الموجبة تتحرك عشوائيا ولكن في القياسات الكبيرة فإنها تتحرك مجتمعة لان الشحنات تكون مترابطة بشدة بتأثيرها الكهربائي المتبادل لتفادي حدوث عدم التوازن . ولذلك بالرغم من أن البلازما تحتوي على عدد هائلا من الشحنات الحرة فانها تبقى متعادلة كهربيا لان في المعدل يكون عدد الشحنات الموجبة والسالبة في وحدة الحجم منها متساويا والمادة في حالة البلازما تكون أقل إنتظاما من المادة في الحالة الصلبة اوالسائلة أو الغازية غير أن التعادل الكهربائي لها يمثل نوعا من الانتظام و إذا شحنا البلازما لدرجة عالية فان الانتظام سوف يزول ويصبح المادة في حالة فوضى مشوشة من جسيمات مفردة ويحدث هذا عندما تكون الحركة الحرارية بطاقة عالية بحيث أن القوة الكهربائية تعود قادرة على جذبها .ومسألة التعادل الكهربي هنا تعتمد على مدى المسافات , ففي المسافات الصغيرة لن يكون هنالك تعادل كهربائي ولكن بالمسافات الكبيرة يبقى التعادل لأنه للتغلب على قوى التجازب الكهربائي نحتاج الى طاقات عالية لتصل الشحنات إلى مسافات كبيرة [7].

3.3 أشكال البلازما

الجدول (1.3) التالى يوضح أشكال البلازما المختلفة

البلازما الصناعية	بلازما أرضية	بلازما فيزياء فلكية وفضاء كوني
موجودة بشاشات البلازما مثل التلفاز	البرق والصواعق	الشمس و النجوم (البلازما تسخن بالاندماج النووي)
مصابيح التألق (لمبات فلوريسنت) (إنارة ذات طاقه ضعيفه) إشارات النيون	طبقة الايونوسفير	رياح شمسية
النطاق الموجود امام الحاجز الحراري لسفن الفضاء خلال دخولها الغلاف الجوي	الشفق القطبي	الفراغ المحيط بين الكواكب
انبعاث الاندماج النووي	—	الفراغ المحيط بين النجوم
التقوس الكهربي الموجود بالانارة القوسية , لحام القوس الكهربي أو المصباح (المدفع) البلازمى	—	الفراغ المحيط بين المجرات
عوادم الصواريخ	—	حلقة أحد أقمار المشترى
مصابيح البلازما تسمى (كرة البلازما)	—	الاقراص الناشئة من تكوين الاجسام النجمية الضخمة
يستخدم البلازما لحفر رقائق الحاسوب لانتاج الدوائر الكهربية وصنع أشباه الموصلات	—	—

4.3 خصائص ومعالم البلازما

للبلازما خصائص ومعالم تمييزها عن باقي حالات المادة نذكر منها الاتي :

1.4.3 درجة تأين البلازما

التأين ضروري لتكوين البلازما والمقصود بكثافة البلازما هي الكثافة الالكترونية بمعنى الالكترونات المتحررة لكل وحدة مساحة ودرجة التأين هي كمية الذرات التي خسرت أو كسبت الكترونات وتكون الحرارة هي العامل القوي المتحكم بذلك . لو إن جزءا من الغاز بما يساوي 1 % من الجزئي قد تأين فسوف يأخذ صفة شبه البلازما بمعنى (أنه متأثر بمجال مغناطيسي وهو موصل كهربائي قوي) . درجة التأين(α) تعرف بالمعادلة :

$$\alpha = \frac{n_i}{(n_i + n_a)} \qquad (1.3)$$

حيث :

n_i= كثافة الايونات , n_a = كثافة الذرات غير المتاينه (المحايده)

ترتبط كثافة الالكترون بدرجة التأين عن طريق حالة متوسط الشحنة $< Z >$ للايون خلال المعادلة التالية

$$n_e = < Z > n_i \qquad (2.3)$$

حيث أن $n_e \equiv$ كثافة الالكترونات ، $n_i \equiv$ كثافة الايونات

البلازما مع درجة قليلة من التأين تسمى (بلازما باردة) . ومن الممكن الحصول على بلازما بدرجة قليلة من التأين (أكثر الغازات المحايدة) بمعنى أن الأيونات ذات درجة عالية من التأين تكون الالكترونات قليلة موجودة لكل أيون [10].

2.4.3 الحرارة

تقاس حرارة البلازما بالكلفن او الاكترون فولت وهو قياس للطاقة الحركية الحرارية لكل جزيئ وفي كثير من الاحيان نجد أن الالكترونات تكون قريبة من حالة التوازن الحراري لان الحرارة تكون واضحة المعالم . حتى بحالة الانحراف في معادلات ماكسويل لتوزيع الطاقة

ومثال على ذلك : اشعة فوق بنفسجية الجسيمات النشطة أو مجال كهربائي قوي وبسبب التفاوت الكبير بالحجم تأتي الالكترونات الى حالة التوازن للديناميكا الحرارية بأسرع من أن تتحول إليها من خلال الأيون أو الذرات الطبيعية . لهذا السبب حرارة الأيونات تكون مختلفة عن حرارة الالكترون وعادة ابرد . وهذا معتاد ببلازما الايونات الضعيفة حيث تكون الأيونات قربية من الحرارة المحيطة . استناد للحرارة المرتبطة بالالكترونات والايونات والجسيمات المحايدة فإن البلازما ما يمكن تصنيفها على انها حرارية ولا حرارية .

*البلازما الحرارية: تكون فيها الالكترونات والاجسام (الايونات والذرات المتعادلة)الثقيلة بنفس درجة الحرارة بحالة التوازن الحراري مع بعضهم البعض

*البلازما اللا حرارية : تكون الايونات والجسيمات المحايدة بحالة الحرارة المحيطة بها بينما الالكترونات تكون أكثر حرارة بكثير[8] .

إن الحرارة تتحكم بدرجة التأين بالبلازما . بالخصوص أن تأين البلازما محدد بدرجة حرارة الالكترون المتصلة بطاقة التأين (وبدرجة اضعف بالكثافة) أحيانا يشار الى البلازما بأنها حارة اذا كانت متيأينه بدرجة تامة أو باردة اذا كان جزئ بسيط كمثال 1% من جزئ الغاز متأين . وحتى في حالة البلازما الباردة فإن درجة الحرارة للإلكترون المثالية تكون حوالي عدة الاف من الدرجات المئوية . البرق هو مثال للبلازما الموجود على سطح الارض تفريغ البرق للكهرباء يكون عادة 30.000 امبير ويصل الى 100 مليون فولت يصدر منها الضوء أو اشعة الراديو وأشعة سينية وحتى اشعة قاما . درجة حرارة البلازما بالبرق قد تصل ـــ 28,000 كالفن (ـــ 27,700C°) وكثافة الالكترون قد تتعدى 10^{24}/ متر^3 [7].

3.4.3 الجهد الكهربي

بما ان البلازما موصل قوي للكهرباء فمقادير الجهد الكهربية ستأخذ دورا منهما . وبما أن الجهد موجود ما بين جسمين مشحونين بالفضاء . فإذا وضع إلكترود او قطب كهربائي بالبلازما فان الجهد بشكل عام سيتحرك بقوة الى ما دون جهد البلازما بسبب نشؤ ما يسمى غشاء ديباي, بسبب جودة التوصيل الكهربي فان المجال الكهربي البلازما يصبح صغيرا جدا وهذا يفضي الى مفهوم مهم لشبه الحياد والذي يقول اذا كانت كمية التقارب الحقيقية جيدة فالمفروض ان كثافة الشحنات السالبة تعادل كثافة الشحنات الموجبة خلال مساحة كبيرة من البلازما حيث ان المعادلة $(\mathbf{n_e = < Z > n_i})$ على مقياس طول ديباي قد يكون الشحن غير

متوازن . بهذه الحالة الخاصة تكون الطبقات المذدوجة متشكلة و توزيع الشحن يمكن أن يمتد الى عشرات من اطوال ديباي . مقادير الجهد والمجالات الكهربية يجب أن يكونوا محديين بالوسط المحيط بدلا من إيجاد صافي كثافة الشحنات .

المثال العام لنعرف ان الالكترون بحالة طبيعية معادلة بولتزمان :

$$\mathbf{n_e \propto exp(\frac{e\phi}{K_B T_e})} \qquad \mathbf{(3.3)}$$

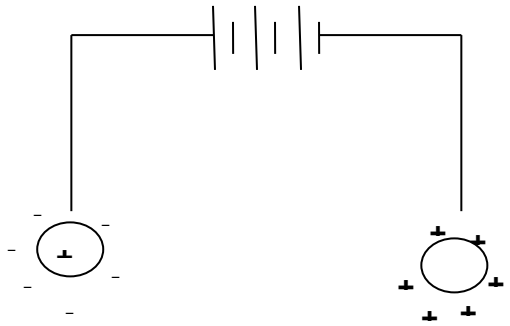
ميزة تلك المعادلة تجعل الحالة قادرة على حساب المجال الكهربي من الكثافة :

$$\mathbf{E = \left(\frac{K_B T_e}{e}\right)\left(\frac{\Delta n_e}{n_e}\right)} \qquad \mathbf{(4.3)}$$

ونجد ان حاجز ديباي يمنع المجال الكهربي من التاثير المباشر على البلازما خلال مسافة كبيرة (ابعد من طول ديباي) لكن ظهور الجزيئات المشحونة يجعل البلازما تولد وتتاثر بالمجال المغناطيسي . وهذا يسبب سلوكا معقدا مثل نشوء الطبقات المزدوجة التي تفصل الشحنات عن بعضعها البعض خلال العشرات من اطوال ديباي .وديناميكا البلازما تتاثر بالمجالات المغناطيسية سواء الخارجية او المنتجة ذاتيا [9].

5.3 طول العزل (الحجز) لديباي

في الحالات الاستاتيكية نجد ان الموصل الجيد يمنع المجال الكهربائي من النفاذ الى داخله لان الموصل يحجز المجال بتجمع شحنات كهربائية على سطحه وهذا ما يحدث ايضا في حالة البلازما فاذا ما ادخلنا زوجا من الاقطاب في البلازما كما في الشكل (1.3) فان الشحنات السالبة (الالكترونات) سوف تتجمع عند القطب الموجب والايونات الموجبة سوف تنجذب نحو القطب السالب واذا ما فصلنا الاقطاب عن التماس المباشر بالبلازما بواسطة طبقة من عازله فان الالكترونات والايونات سوف تتجمع مكونة تجمعا للشحنات الساكنه حول كل من القطبيين وتحجز مجالها.وبسبب التهيج الحراري فإن الشحنات لا تستطيع ان تكون ساكنة تماماعلى الاقطاب وبدلا عن ذلك فإنها تكون غيمة غير ثابتة بالقرب من القطب . ومن داخل الغيمة فقط يشوش البلازما اما خارج الغيمة فلا تتأثر البلازما بوجود القطب . ان حجم الغيمة يعتمد على درجة الحرارة فتكون الغيمة كبيرة عندما تكون درجة الحرارة عالية [9].



الشكل (1.3) يوضح قطبان كرويان مغموران في البلازما

ان سمك الغيمة يسمى بمسافة العزل (الحجز) (Shielding Distance)

او مسافة ديباي (Debye Distance) والتي تعطي بالعلاقة :

$$\lambda_D = \sqrt{T/mw_p^{-1}} \qquad \textbf{(5.3)}$$

حيث w_p هو تردد البلازما يعطى بالعلاقة :

$$w_p^2 = \frac{n\,e^2}{\epsilon_o m} \qquad \textbf{(6.3)}$$

بتعويض المعادلة في المعادلة نجد ان طول ديباي يعطى بالعلاقة التالية :

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{T\,\epsilon_o}{n\,e^2}} \qquad \textbf{(7.3)}$$

حيث :

n ≡ عدد الالكترونات في وحدة الحجم , T≡ درجة الحرارة , K≡ ثابت بولتزمان

e≡ شحنة الالكترون , ϵ_o ≡ سماحية الفراغ

وهذه المسافة تمثل مقدار نفاذ المجال الكهربائي خلال البلازما وتحدد أيضا مقدار الانحراف عن التعادل خلال البلازما . وفي المسافات الكبيرة مقارنة بمسافة ديباي تبقى البلازما متعادلة كهربيا لان اي تركيز للشحنات تختفي حالا في غيمة من شحنات معاكسة و بالتالي فإن

الغاز المتأين يتصرف كبلازما في المسافات الكبيرة بالمقارنة مع مسافة ديباي . والمسافة بين الجسيمات في البلازما يمكن ايجادها من المعادلة الاتية :

$$r_d = n^{-1/3} \qquad \textbf{(8.3)}$$

6.3مقدار البلازما (Λ)

مقدار البلازما هو عدد يقيس متوسط عدد الالكترونات الموجودة داخل كرة ديباي ونصف قطره يسمى طول ديباي داخل البلازما . ومقدار او قيمة البلازما المستخدمة بفيزياء البلازما تعرف للكميات البلازمية الكبيرة ومعادلتها :

$$\boldsymbol{\Lambda = \frac{4}{3}\Pi n \lambda_D^3} \qquad \textbf{(9.3)}$$

وحيث ان العامل $\boldsymbol{\frac{4}{3}\Pi}$ يسقط عندا يتم تعويض قيمة طول ديباي من المعادلة ويصبح مقدار البلازما :

$$\boldsymbol{\Lambda = \frac{(\epsilon_o T K)^{3/2}}{q_e^3 n_e^{1/2}}} \qquad \textbf{(10.3)}$$

فعندما يكون $\Lambda >> 1$ فان التفاعلات الجماعية للكهرباء الاستاتيكية تسيطر على الاصطامات الثنائية[11].

7.3 البلازما الممغنطة

البلازما الممغنطة هي التي في مجال مغناطيسي قوي لدرجة انه يؤثر على شحنة الجسيمات المشحونة .المعيار الكمي المشترك هو ان الجسيم بالمتوسط يكمل دورة كاملة على الاقل حول المجال المغناطيسي قبل الاصطدام او الالتحام .ويكون بالعادة الالكترونات ممغنطة والايونات دون ممغنطة والبلازما الممغنطة تكون مختلفة الخصائص بمعنى ان هناك خصائص تتوازى مع المجال المغناطيسي وهناك عمودية عليها . بما ان المجال الكهربي يكون ضعيفا بسبب قوة التوصيل ، لكنه يتوافق مع حركة البلازما بالمجال المغناطيسي بالمعادلة التالية :

$$E = -q\ V \times B \qquad \textbf{(11.3)}$$

واي جسيم مشحون عندما يمر خلال حقل مغناطيسي فسوف يؤثر عليه بقوة تعرف بقوة لورنتز :

$$E = - qv \times B \qquad (12.3)$$

حيث :

V ≡ سرعة الجسيم ، B ≡ شدة المجال المغناطيسي ، q ≡ شحنة الجسيم [9].

8.3 مقارنه بين البلازما والحالة الغازية

البلازما هي الحالة الرابعة للمادة وتتميز عن غيرها من حالات المادة بالطاقة الهائلة التي تمتلكها . وهي ذي صفات مقاربة للحالة الغازية ولكن ليس لها شكل محدد او كتلة . ينظر العلماء للبلازما على انها اكثر اهمية من الغاز بسبب الحلات المميزة لها كما مبين بالجدول الاتي :-

الجدول(2.3) يوضح المقارنة بين البلازما والغاز الاعتيادي

الخاصية	الغاز	البلازما
توصيل كهربي	ضعيف جدا الغازات عازل قوي الا في حالة تحولها الى مادة بلازمية في مجال كهربي قوته فوق 30 كليو فولت / سم	قوي جدا لاغرض عديده التوصيل بالبلازما يمكن أن يعامل علي أنه غير محدود
الانواع التي تمثلها	نوع واحد جميع الجزئات تتصرف بطريقة مشابهه تتأثر بالجازبية وتتصادم مع بعضها البعض	اثنان اوثلاثة الكترون أو محايد او ايون وتتوزع حسب نوع الشحنة و تتصرف عند اكثر الحلات باستقلالية حسب الحجم والسرعة والحرارة ويظهر

		انواع جديدة من الموجات وعدم الاستقرارية
توزيع السرعة التفاعلات	نظام ما كسويل لتوزيع السرعات التصادم يتبع نظام ما كسويل لتوزيع السرعات عند جميع الجزيئات عدا بعض الجزيئات السريعة	غير خاضع للنظام ما كسويل تفاعلات التصادم ضعيفة عند البلازما الحارة و القوى الخارجية قادرة على تحريك البلازما من مكانها المتوازن و تؤدي الي كثافة قوية من الجسيمات السريعة الغير عادية
التفا علات	مزدوج اصطدام بين جسيمين و نادرا بين ثلاثة	تراكمي تموج او حركة منتظمة للبلازما مهم جدا لان الجسيمات تتفاعل لمجالات ابعد من القوى الكهربية والمغنطيسية.

9.3 الوصف الرياضي للبلازما

لوصف حالة البلازما تماما نحتاج لنعرف أماكن وسرعة الجسيمات ووصف المجال الكهرومنطيسي بمنطقة البلازما . لكن ليس من الضروري أن نفحص جميع الجسيمت بالبلازما, لهذا علماء البلازما يعطون تفصيل اقل للنماذج المعروفة وهنالك نوعين مهمين هما :

1.9.3 نموذج الموائع

نموذج الموائع يصف البلازما من حيث الكميات السهلة مثل الكثافة والسرعة المتوسطة حول كل موقع احد نماذج الموائع البسيطة نظرية ديناميكية هيدرو مغناطيسي (ديناميكيات الموائع الموصلة في مجالات كهربية و مغناطيسية شبه مستقرة . وهذه الموائع قد تكون معادن فلزية سائلة كالزئبق أو الفلزات القلوية المنصهرة او قد يكون غاز ضعيف التأين او بلازمات) وهي تتعامل مع البلازما كمائع وحيد محكوم بتركيبة من (معادلات ما كسويل ومعالادت نافير

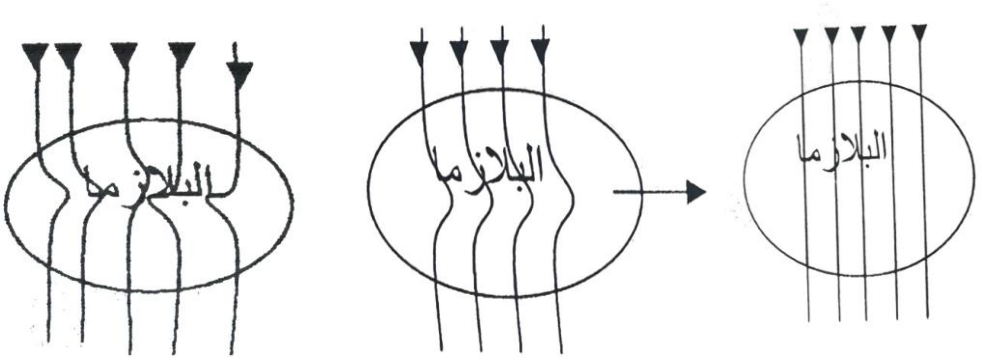
ـ ستوك) الوصف الاخر هو نظام الموائع الثنائي . حيث ان الالكترون والايون يعاملان منفصلين عن بعضهما البعض . نظام الموائع عادة يكون دقيق اذا صار الاصطدام عالي بدرجة كافية لكي يصل توزيع البلازما مقاربة الى قانون (توزيع ماكسويل بولتزمان) . والسبب ان نظام الموائع يصف البلازما كمجرى واحد بدرجة حرارة محدده لكل موقع مكاني فانه لا يمكن إصطياد سرعة الاجسام الفضائية مثل الشعاع او الطبقات المذدوجة ولا يحل تأثير اجسام الموجات [12].

2.9.3 النموذج الحركي

هذا النموذج يصف توزيع سرعة الجسم لكل نقطة بالبلازما ولا نحتاج للافتراض بقانون توزيع ماكسويل بولتزمان . وصف الحركة ضروري للبلازما العديمة الاصطدام . هنالك طريقتان معرفتان لوصف الحركة بالبلازما , الاولى تعتمد وظيفة التوزيع السهل على الشبكة في السرعة والموقع اما الاخرى فتسمى تقنية الجزئي في الخلية فتضم المعلومات الحركية باتباع مسارات لعدد كبير من الجزيئات الفردية . النموذج الحركي اكثر كثافة حسابيا من نموذج الموائع , ويستخدم معادلة فلاسوف لوصف نظام الجزئيات بالبيئة الكهرومغنطيسية [12].

10.3 البلازما والمجال المغنطيسي Plasma and Magnetic Field

كثير من البلازما الطبيعية وفي المختبر تغمس في مجال مغنطيسي وهذا المجال يمكن ان يولد من المصادر خارجية او من التيارات الكهربية الجارية خلال البلازما دائما . و يعكس المجال الكهربائي السكوني الذي لا يمكن ان يظهر داخل البلازما ما يمكن أن يتولد مجال مغناطيسي سكوني داخلها ومثل هذه المجالات تتعرض لكثير من التحديدات فخطوط المجال تتجمد داخل البلازما . واذا كانت البلازما ساكنة فان خطوط المجال خلالها ايضا ساكنة واذا كانت البلازما جارية فان خطوط المجال تسري ايضا معها وكل جزء من خط المجال يتبع حركة عنصر صغير من المائع الذي يوجد فيه كما موضح أدناه :



(ج) **(ب)** **(أ)**

الاشكال(2.3) توضح خطوط المجال المغناطيسي المارة خلال كرة بلازمية بين قطبي مغنطيسي كهربي

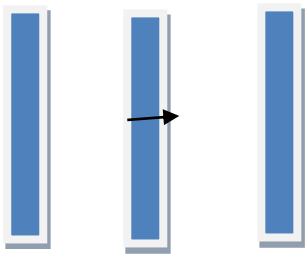
أ/ خطوط المجال المغناطيسي في كرة البلازما ب/ عندما تزاح البلازما ج/ عندما تضغط البلازما

ان هذا الالتصاق بين خطوط المجال والبلازما هو نتيجة مباشرة لتوصيليتها العالية . وفي البلازما المثالية تكون التوصيلية لا نهاية وكذلك فان المجال الكهربائي في اى عنصر حجمي من البلازما يجب ان يكون صفرا . ولكن كما نعرف من قانون فرداي الذي ينص على (ان القوة الدافعة الكهربية التأثيرية تتناسب طرديا مع معدل تغيير الفيض المغناطيسي $\boldsymbol{\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt}}$)

ان اي تغيير في المجال المغناطيسي ينتج عنه مجال كهربائي محدث وحيث ان التغير في المجال الكهربائي غير ممكن فان التغيير في المجال المغنطيسي غير ممكن ايضا . وهذا يعني انه في الاطار الثابت لاي عنصر حجمي من البلازما يجب ان تبقى خطوط المجال المغنطيسي ثابتة اي انها يجب ان تتحرك مع عنصر الحجم البلازمي . وهذا التجمد في الخطوط المجال المغنطيسي خلال البلازما يمكن اعتباره قانون ليز . اي تغير في المجال المغنطيسي ينتج حالا تيارا كهربائيا مجاله المغنطيسي يجمع مع المجال الاصلي بطريقة بحيث يصبح المجال النهائي ثابتا[14].

11.3 الموجات في البلازما Waves in Plasma

ان التصرف الديناميكي للبلازما اكثر تعقدا من تصرف الغاز . ففي الغاز يحدد الضغط بصورة تامة الحركة العيانية بينما في البلازما يلعب المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي دورا كبيرا فمثلا نأخذ انتشار موجة صوتية في البلازما . فهذه موجه طولية فيها مناطق متناوبة من التضاغط والتخلخل كما موضح ادناه :

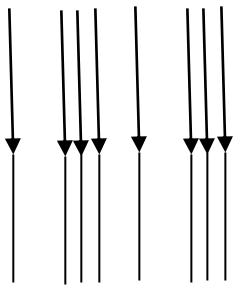


شكل (3-3)يوضح موجات صوتية من غاز حار او بلازما

في اي غاز اعتيادي تكون القوة المعيدة في اي موجة صوتية ببساطة فرق الضغط من المناطق المضغوطة وفي البلازما هنالك قوة إضافية معيدة في ان الشحنات الموجبة المركزة للايونات في البلازما في المناطق في اي غاز اعتيادي تكون القوة المعيدة في اى موجه صوتية ببساطة فرق الضغط من المناطق المضغوطة وفي البلازما هناك قوة إضافية ان الشحنات الموجبة المركزه للايونات في البلازما في المناطق المضغوطه تولد قوة كهربية تنافرية . ومن الطبيعي ان الالكترونات تحاول ان تحجر الايونات وتلغي تناظرها الكهربي ولكن بما ان للالكترونات حركة كبيرة عشوائية " اكبر من حركة الايونات " فان الحجز لا يكون تاما وتبقي بعض القوى التنافرية [15].

1.11.3 الموجات الصوتية المغناطيسية Magnetosom Wave

إن انضغاط خطوط المجال المغناطيسي يولد زيادة في الضغط المغناطيسي لذلك فان القوة المعيده التي تتحكم في تقدم هذه الموجة تكون بسبب مجموع الضغط المغناطيسي والضغط الحركي والموجة من هذا النوع تسمي بالموجه الصوتية المغناطيسية وهي موجة طولية معدلة بالتأثيرات المغناطيسية كما مبين بالشكل ادناه

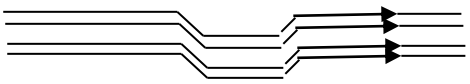


الشكل (4.3) يوضح موجه صوتية من البلازما بوجود مجال مغناطيسي

ضغط البلازما يولد ضغط للمجال المغناطيسي

2.11.3 موجات الفن Alfven Wave

لنفرض وجود بلازما في مجال مغناطيسي منتظم . فاذا عرضت طبقة من هذه البلازما الى تشويه مستعرض فان خطوط المجال المغناطيسي سوف تعاني من تشويه مستعرض . كما في الشكل :



شكل (5.3) يوضح ازاحة طبقة من البلازما يولد تشوها في خطوط المجال المغناطيسي

ان هذا التشويه يؤدي الي زياده في كثافة خطوط المجال في هذه الطبقة وبالتالي الي زيادة في الطاقة المغنطيسية . وبالنتيجة فان المجال المغناطيسي يسلط بقوة معيده علي البلازما تعاكس التشوه تحت تأثير القوة المعيدة فان التشويه يتقدم علي امتداد خطوط المجال المغناطيسي . وهذه هي الموجه مستعرضة مشابهه لموجه في وتر وتتقدم علي امتداد خطوط المجال[13].

3.11.3 الموجات الراديوية Radio Wave

إن الموجات الراديوية ذات الترددات العالية تستطيع ان تخترق البلازما وتتقدم خلالها . فمثلا الغلاف الجوي الايوني للارض (الأيونوسفير) يمرر موجات راديوية ترددها حوالي 30 ميجا هيرتز (موجات الرادار والتلفزيون) الا انه يعكس الموجات الاقل ترددا . والموجات الراديوية ذات الاطوال الموجيه المختلفة تنعكس من الطبقات المختلفة ولهذا السبب فان إختيار حزم

التردد يكون مهما جدا للاتصال ذي المدي الكبير . فان الاحتكاك بين كبسولة الفضاء والهواء يحرق تدريجيا الحاجز الحراري للكبسولة واللهب يحيط الكبسولة بطبقة من البلازما وهذه البلازما توقف الموجات الراديوية وتمنع الاتصال. وبما أن البلازما موصل جيد للكهرباء فانها تحجز المجالات الكهربائية للموجات الردايوية كما تعمل الفلزات ان هذا صحيح للترددات العالية فيفشل الحجز لأن الالكترونات لا يكون لديها الوقت الكافي لتستجيب للمجالات الكهربائية [12].

12.3 حصر البلازما Plasma Concinement

بما أن البلازما في مفاعلات الالتحام النووي يجب أن تكون حاره جدا. فان علينا أن نمنع تماس هذا بجدار اناء المفاعل . ويمكن تحقيق هذا بتعليق البلازما في وسط الاناء في مجال المغناطيسي ولكن المجال هذا لا يستطيع حصر البلازما تماما.

ومعدل النضوج الأدني للبلازما يحدد بالانتشار الذي تسببه الحركة الحرارية ,وفى الواقع يكون النضوج اسوأ كثيرا فان البلازاما تحاول ان تولد انواعا مختلفه من عدم الاستقرار التي تجعلها تخرج من منطقة الحصر المغناطيسي بمعدل اوسع بكثير من معدل النضوج الأدني.

1.12.3 جهاز التوكاماك Tokamak

في التوكاماك تحصر البلازما في منطقة حلقية وهذا يمنع خسارة البلازما من النهايتين حيث انها غير موجودة، والمجال المغناطيسية التي تحصر البلازما تولد جزئياً من ملف خارجي والجزء الاخر يولد من التيار المستحث في البلازما ذاتها والتيار المستحث في عمود البلازما يولد بواسطة مجال مغناطيسي متغير يجهز بملفات مركزية ، والتيار المتولد في هذه الحاله

يقترب من المليون امبير.

2.12.3 مرآة الترادف (Tandem Mirror)

وهي عبارة عن ملف مستقيم مغلق من الجانبين بمرآة مغناطيسية مكونة من مغناطيسين مرتبة بالترادف وأحد هذه المغانط هو ملف دائرة اعتيادي والأخر ذو تركيب معقد يشبه تخطيط كرة البيسبول (base ball) وفي مجال هذه المغانط المترادفة يحاول كل من الالكترونات والاونات الموجبه في حصر البلازما الانفصال عن بعضها لحد ما ، وهذا الفصل للشحنات يؤدي الي توليد مجال كهربائي يساعد في حصر البلازما كذلك فان عمل ترادف[15].

13.3 الاندماج النووي الحراري Thermonucler Fusion

إن الاستخدامات السلمية للاندماج النووي الحراري بامكانها تقديم ذخيرة لا حدود لها من الطاقة للجنس البشري . والمشكلة الرئيسية لانتاج الطاقة بالاندماج النووي الحراري هو انتاج وحصر البلازما التي تشمل علي نظائر ثقيلة للهيدروجين (ديوتريوم D وتريتوم T) . ويجب أن تكون هناك درجة الحرارة العالية $T= 10^8$ K [14].

لكي يتم التفاعل الاندماجي المحرر للحراره

$$D + T \longrightarrow He^4 + n \qquad (13.3)$$

حيث n ≡ نيوترون

وتوجد طريقتان لانتاج البلازما وحصرها هما :

أ. الحصر المغناطيسي : هذه هي الطريقة التقليدية وفيها تحصر بلازما منخفضة نسبيا لفترة زمنية طويلة ضمن قنينة مغناطيسية ملائمة

ب. الحصر بالقصور الذاتي : وهي احدث الطرق فيما يتعلق بالاستعمالات السلمية للإندماج النووي . ففي هذه الحالة تسخن بلازما (D , T) بسرعة على حين تبقي محبوسة بسبب قصورها الذاتي . وهذا يعني أنه ضمن زمنية قصيرة وقبل تشتت البلازما تحدث كمية كافية من التفاعل النووي الحراري وتنطلق كمية كبيرة من الطاقة (تفاعل إنفجاري) . تعد الليزرات واحدة من أحسن الوسائل لتوفير تسخين سريع جدا للبلازما , لقد تبين من حسابات معقدة أنه لتوليد طاقة نووية حرارية بكفاءة لا تسخين الكرة الدقيقة (قطرها جزء من mm محتوية على كل من D , T) الى درجة حرارة عالية جداً فحسب بل يتطلب أيضا ضغطها الى كثافة مقدارها 10^4 مرة أكبر من الحالة السائلة . وهذا يتطلب تسخين متجانس لوقود الكرة الدقيقة وسلوك زمنى خاص وملائم لنبضة الليزر.فعندما تشع الكرة الدقيقة تحدث الاحداث المتسلسلة التالية :

اولا : تتولد بلازما كثافتها منخفضة حول الكرة الدقيقة بأستعال نبضة ليزرية أولية ، من ثم يشع غلاف الكرة بطريقة متناظرة بواسطة نبضة ليزر ثانية أكثر . ان إمتصاص الطاقة في المحيط

الخارجي للكرة يؤدي الي تفكك المادة نتيجة لتبخر السطح وهذا بدوره يحدث إنفجار داخلي شديد للكرة الدقيقة . وللحصول على تفاعل إندماجي ذي قيمة مهمة يجب وصول الجزء الاعظم شدة للنبضة الليزرية في زمن الانكباس الاعظم للكرة . والليزر الملائم لانتاج هذه الانفجارات الدقيقة يجب أن يكون طوله الموجي في المدى من 250nm الى 2000nm والطاقة لكل نبضة 10^{6} J (3 - 1)، وامد النبضة 10^{-9} s (10 – 5) ومن ثم تكون ذروة القدرة لليزر أكبر من 200 W [14].

الباب الرابع

اطياف البلازما المستحثة بالليزر

Laser Induced Plasma Spectroscopy

1.4 مقدمة

عندما اخترع العالم ميمان اول ليزر في العام 1960، وصف البعض هذه التقنية علي انها الحل الذي يبحث عن مشكلة . ولكن اكتشف العلماء ان الليزر ليس مجرد هواية وانما له الكثير من التطبيقات العلمية . نجد ان الاطباء اليوم يستخدمون اشعة الليزر لاصلاح قرينة العين ويستخدم الليزر ايضا كمشرط دقيق جداً. كما أن الصناعات الاكترونية تستخدم الليزر في الكثير من التطبيقات مثل قاريء الباركود bar-code وانظمة التخزين الضوئية وفي طابعات الكمبيوتر . كما تستخدم طاقة الليزر العالية ف ثقب احجار الماس وقطع المواد الخفيفة كالبلاستيك والمواد الثقيلة مثل التيتانيوم.

نجد ان الليزر مهم بشكل خاص في مجال التحليل الطيفي المستخدم من قبل الكيمائيين و الفيزيائيين . ان الخبراء في عالم الكيمياء التحليلية طوروا تقنيات تمكن من تحديد المركب الكيمائي للمادة. وبواسطة هذه التقنيات تمكن العلماء من قياس الخصائص الفيزيائية مثل الكتلة ومعامل الانكسار والتوصيل الحراري وبعض تقنيات اخري تعتمد علي الشحنة الكهربائية والتيار الكهربائي لتساعد في التعرف علي المكبات الاساسية للماة . وهناك المزيد من التقنيات لقياس مقدار الامتصاص Absorption والانبعاث Emission والتشتت Scattering للاشعاع الكهرومغناطيسي وهذه التقنية تعرف بعلم الاطياف [12].

2.4 علم الاطياف

تعتمد دراسة الاطياف علي التفاعل الحادث بين الضوء والمادة ، حيث تعطي هذه الدراسة معلومات كافيه عن تركيب مستويات الطاقة للذرات والجزئيات المكونة للمادة. يعتمد علم الاطياف علي مبدأ تكميم مستويات الطاقة في الذرة . فالذرات والجزئيات تمتص او تشع مقدار محدد من الضوء عند طول موجي معين . ولفهم لماذا تمتص الذرة اي ضوء عند اي طول

موجي يجب ان نفهم كيف تتركب االذرة. في العام 1913 تمكن العالم الدنماركي نيل بور Bohr Niel من الاستفادة من نموزج العالم رذرفورد Rutherford للذرة والمتمثل في نواة موجبة الشحنة تحيط بها سحابة الالكترونيات . وقد عدل بور علي هذا النموزج بحيث يتوافق هذا التعديل مع النتائج العملية التي لم يتمكن نموزج رذرفورد من تفسيرها. في نموذج بور نشاهد الاكترونات في مدارتها المنفصلة تدور حول النواة مثل مدارات الكواكب حول الشمس [11].

كما في الشكل ادناه :

شكل (4.1) يوضح تركيب الذرة

في ذرة بور نجد ان الاكترون في مداره يرتبط بالنواة بمقدار محدد من الطاقة ويمكن للالكترون أن يوجد فى أى مدار حول الذرة إذا إكتسب أو فقد مقدار محدد من الطاقة يساوى

الفرق بين طاقة هذه المدارات. اي ان الالكترون يمكن ان يغير مداره الي مدار اخر اذا اكتسب او فقد مقدار محسوب من الطاقة . ويعتبر الالكترون في مداره الاصلي انه في الحالة الارضية Ground state . ولنقل الالكترونات من المدار الارضي الي مدار اخر ابعد فانه يمتص طاقة وعندما يحدث هذا هذا فاننا نسمي حالة الالكترون بانه في الحالة المثارة Excited state . عموما نجد الالكترونات لا يمكنها ان تبقي في الحالة المثارة لفترة زمنية طويلة . لذلك فهي تقفز عادة الي الارضي وتتخلص من الطاقة التي اكتسبتها في صورة فوتون عند طول موجي محدد . تمتص الذرة الطاقة في صورة حرارة او ضوء او كهرباء فينتج عن ذلك انتقال للاكترون من مدار الي مدار ذو طاقة اعلي[15].

كل عنصر من عناصر الجدول الدوري يمتلك مجموعة مدارات فردية تميزه عن اي عنصر آخر . وبمعني آخر ان الالكترونات في اي عنصر تترتب في مدارات طاقة حول النواة في بطريقة مميزة عن الكترونات اي عنصر آخر . ولان التركيب الداخلي للعناصر فريد ومميز فان الاطوال الموجبة المنبعثة عن انتقالات الالكترونات بين مدارات الطاقة سوف تكون مميزا ايضاً. ولذلك فان كل عنصر له بصمة خاصة به تعرف باسم الطيف الخاص به [16].

3.4 المطياف الضوئي

المطياف هو جهاز له القدرة علي فصل الضوء حسب طوله الموجي . يدخل الضوء من فتحة ضيقة ويمر في عدسة لنحصل علي اشعة ضوئية متوازنة. تسقط هذه الاشعة علي منشور يعمل علي حرف الضوء عن مساره بزاوية تعتمد علي الطول الموجي للضوء لذا نحصل علي حزم من الضوء كل حزمة لها لون محدد مثل ما يحدث في تحليل ضوء الشمس في يوم ممطر الي الوان الطيف المعروفه باسم Rainbow ولرصد الاطوال الموجية المختلفة التي تم تحليلها يتم استخدام عدسة اخري تقوم بتجميع الضوء وتركيزه علي فتحة المخرج لتسمح للون واحد فقط من المرور عبرها باستخدام تلسكوب مثبت علي قاعدة قابله للدوران يمكن كل الاطوال الموجية عن طريق دوران التلسكوب بالنسبة الي الزاوية . الشكل ادناه يوضح مطياف بسيط يستخدم منشور لتشتت الضوء (الاسبكترومتر) هناك اجهزة اخري تعرف باسم المطياف البياني sprctrographs والذي يصور الطيف الناتج علي فيلم[14].

الشكل(2.4) يوضح المطياف البياني

4.4 التحليل الطيفي بالليزر (مطياف الليزر)

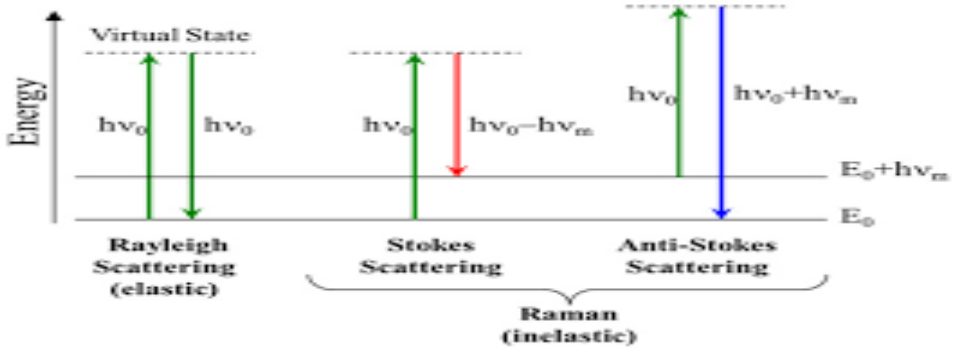
علي مر السنين طورت الكيمياء التحليلية الكثير من الادوات والتقنيات بعض هذه التقنيات والادوات ذات طبيعة كيفية تختص بتحديد نسب تواجد العناصر والمركبات في المادة بالتحليل وهناك طرق اخري ذات طبيعة كمية حيث تقوم بقياس مقدار تواجد عنصر او اكثر في المادة وفي كلا التقنتين فان علم التحليل الكيمائي يعتمد في العينة فتكشف عن المركبات الكيمائية المكونة لها.استخدم الليزر لاستحثاث المادة واصبح الاعتماد علي الليزر كاداة تحليلية من الادوات التي لا يمكن الاستغناء عنها. وكل التقنيات الضوئية التي تستخدم الليزر كاداة تحليلية تعرف باسم التحليل الطيفي بالليزر Laser spectroscopy والتي تعمل عي استحثاث العينة ثم تحليلها للحصول علي الطيف الكهرومغنطيسي الناتج عن الانبعاث الاشعاعي او الامتصاص الاشعاع [17] .

5.4 انواع التحليل الطيفي بالليزر

في التحليل الطيفي باستخدام الليزر (مطياف الليزر) يقوم المختص بتسليط ضوء الليزر علي العينة ويحصل علي ضوء يمكن ان يحلل بواسطة المطياف الضوئي وسوف نقوم فيما يلي بشرح بعض التقنيات المستخدمة في مطياف الليزر ونذكرمنها :

1.5.4 اطياف رامان Raman spectroscopy

هذه التسمية تعود الي مكتشفها العالم الهندي Raman spctrocopy الذي قام بقياس التشتت الناتج عن ضوء احادي اللون عندما يسقط علي العينة والضوء الاحادي اللون الناتج عن ليزر ايونات الارجون تم توجيهه بواسطة مرايا وعدسات ليسقط بشكل مركز علي العينة . معظم اشعة الليزر بالحركة الاهتزازية للجزئيات المكونة للعينة. هذه الاهتزازات تجعل فوتونات الليزر تكتسب او تفقد طاقة. والانزياح في الطاقة يعطي معلومات عن انماط الاهتزازات في العينة . بالتالي التعرف علي مكونات ودقائق العينات المختلفة [15].



شكل (3.4) يوضح اطياف رامان

2.5.4 اطياف الفسفرة Fluoercence

الفسفرة أو الوميض تسمية تعود الى الاشعاع المرئي المنبعث من المواد بسبب سقوط اشعاع ذو طول موجي قصير على المادة . وفي الوميض المستحث بواسطة ليزر Laser Induce

Fluorescence أو LIF تسلط اشعة الليزر باستخدام ليزر النتروجين أو ليزر الصبغات العضوية على العينة . فيتم اثارة الكترونات العينية الى مدارات ذات طاقة عالية . وبعد مرور قدرة زمنية قصيرة في حدود بضعة نانو ثانية (ns) تعود الالكترونات الى مستويات الطاقة الارضية . وتفقد هذه الالكترونات طاقة تشعها في شكل فوتونات عند اطوال موجية اطول من الطول الموجي لليزر . ولان مستويات الطاقة للذرات والجزيئات مميزة فان الطيف الوميض الناتج يكون مفصل ومحـــدد يمكن إستخـــدامة في التعرف على الينـــة التي انتجتة[13].

6.4 مقدمة اطياف البلازما المستحثة بالليزر Laser Induced Plasma Spectrosopy

احد التطبيقات التي تنتج عن تفاعل شعاع اليزر مع المادة هو التحليل بالليزر باستخدام دراسة تقنية اطياف البلازما المستحثة بالليزر " Lips " كتقنية لتحليل المواد الصلبة والسائلة و الغازية على حد سواء . في هذه التقنية يتم تركيز ليزر نبضي عالى الطاقة لانتزاع الجسيمات من المادة وللحصول على البلازما [16].

4.7 فكرة عمل تقنية " LIPS "

في تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر " LIPS " يتم تركيز شعاع ليزر نبضي عالى الطاقة مثل ليزر النيودميوم ياق Ns: YAG ذو الطول الموجى 1064nm على المادة لاحداث انهيار الذرات في الوسط المراد دراسته .ومن ثم إثارة الكترونات هذه الذرات من المستويات الارضية الى مستويات ذرية اعلى ومن ثم تتكون البلازما ' لذلك تسمى هذه التقنية بأطياف البلازما المستحثة بالليزر " LIPS " وعندما تعود الالكترونات المثارة الى حالاتها الارضية تبعث الترددات المميزة لهذه الذرات . ومن خلال هذه الترددات يمكن تحديد الذرات في المادة باستخدام المراجع الطيفية . و باستخدام عينات معيارية يمكن تركيز كل عنصر داخل المادة والتي الى أجزاء من البليون باستخدام هذه التقنية . وبذلك نستطيع القول أن لكل مادة بصمة طيفية خاصة بها[13] .

4.8 اجزاء منظومة الـ : " LIPS "

اجزاء منظومة الـ " LIPS " وكما موضح في الشكل الاتي فإن المنظومة تتكون من اربعة اجزاء اساسية وهي :

اولاً : الجزء الرئيسي وهو جهاز الليزر ويستخدم في تقنية Lips ليزر Nd: YAG الذي طوله الموجي 1064nm .

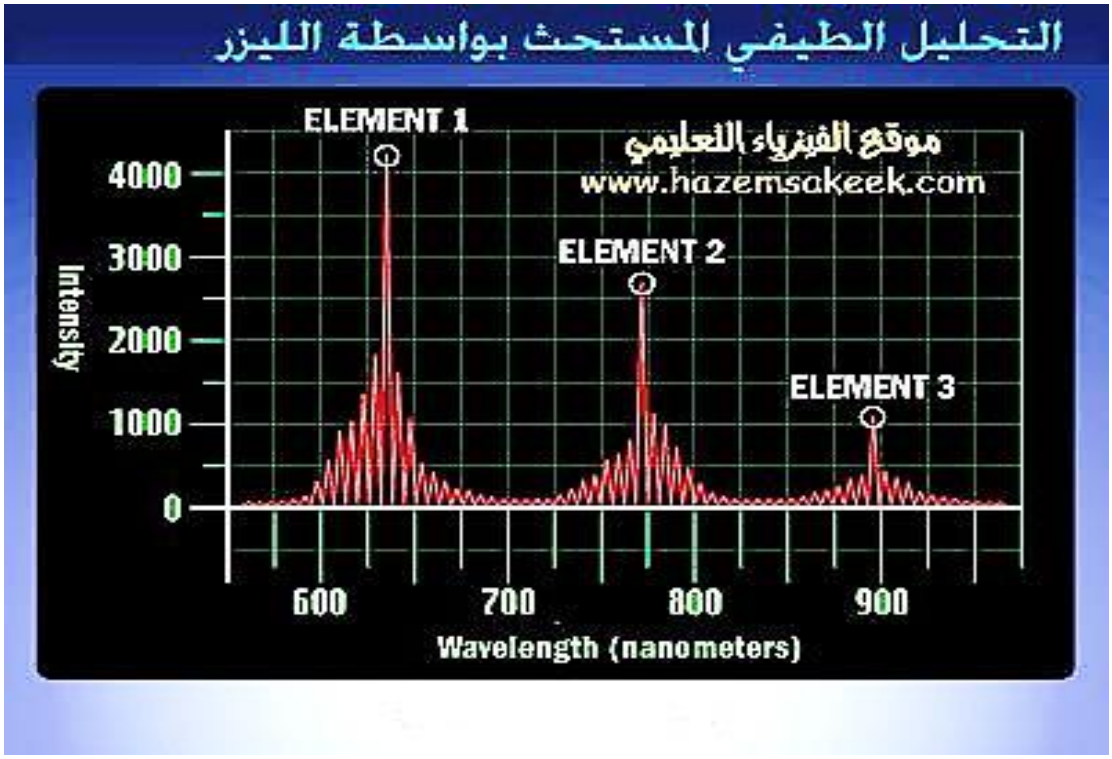
يعمل الليزر بنظام النبضات وكل نبضة تصل الي العينة يكون لها زمن يتراوح من 5 الي 20 نانو ثانية "ns" وتجدر الاشارة الي ان انواع اخري من الليزر تم استخدامها ايضاً.

ثانياً: يمر شعاع الليزر عبر عدسة تقوم بتجميع طاقة الليزرعلي العينة. بعض الانظمة تعمل في المختبر مثبتة علي بنش خاص يحتوي علي العينة وفرغة هواء . ولكن بعض الانظمة تكون محولة ويمكن نقلها الي المكان الذي فيه العينة المراد فحصها . وكلما كان تركيز اشعة الليزر اكبر كلما كانت الطاقة اللازمة لانتزاع الجسيمات من سطح العينة اقل. ونجد ان كل نبضة من نبضات الليزر تحمل طاقة في حدود 10-100mj وهذه الطاقة كافية لانتزاع بعض جسيمات المادة . وهذه الجسيمات تكون متابنة وتكون ما يعرف باسم سحابة البلازما plasma spectral.

ثالثا : تتمدد سحابة البلازما المكونة من الغاز المتأين وخلال فترة زمنية في حدود m μ تبدا الذرات في الاسترخاء وتنتقل الى المدارات الارضية مطلقة فوتونات ضوئية تعرق باسم طيف الانبعاث Spectral Emisshon نسقط هذه الفوتونات الضوئية على عدسات تجمعها و تركزها على نظام من الالياف البصرية optical Fiber يقوم نظام الالياف البصرية بنقل الضوء الى المطياف .

رابعا : يحتوي المطياف على منشور . يعمل على تشتيت الضوء حسب طوله الموجي وتقوم كاميرا خاصة بتسجيل الطيف لمزيد من الدراسة والتحليل . وبدراسة الاطوال الموجية للضوء المنبعث ومقدار شدته كما هو موضح في الشكل أدناه يمكن التعرف على العناصر الموجودة في العنية ومقدار تركيزها [13].

شكل (4.4) يوضح اجزاء منظومة LIPS



شكل(5.4) يوضح التحليل الطيفي المستحث باليزر

9.4 تطبيق : دراسة الرسومات الفنية بتقنية الـ " LIPS "

تستخدم تقنية اطياف البلازما المستحثة بالليزر " LIPS " بطريقة عملية في المتاحف أذا كانت هناك لوحة فنية ثمنية تعود للقرن السابع عشر , وبمرور السنين جرت العديد من عمليات الصيانة و الترميم على اللوحة مما أضاف طبقة جديدة قد تكون غير مرتبة الالوان الاصلية التي إستخدمت فى اللوحة . بالاضافة الى ذلك فإن التراب والدخان قد يلتصق بسطح اللوحة . مما يسبب بتعتيم بسط للوحة مما يجعل من القطعة الفنية لوحة باهتة بدون رونق او جاذبية . عند القيام بتحليل هذه اللوحة لفهم ماذا حدث لها عبر السنوات الماضية وما هى المواد التى ترسبت عليها. إن إستخدام أي نوع من المواد الكيمائية كمنظمات لازالة الطبقات التى ترسبت علي اللوحة قد يصيب اللوحة بضرر بالغ حتى لو كان إستخدام هذه المنظفات يتم بعناية فائقة لانها سوف تؤثر علي الالوان الاصلية للوحة. ولكن بإستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر يمسح كل cm فيها ليتم تحليله. يقوم الليزر بإنتزاع طبقات رقيقة من سطح اللوحة وبدراسة الطيف المنبعث من البلازما المتكونة نتيجة للإنتزاع يمكن تحدد نوع من الجزئيات الموجودة علي اللوحة بدقة وتلك التى يجب التخلص منها. وليس هذا فحسب بل يستطيع المختص أن يعرف ايضاً سمك كل طبقة والطبقة التى تليها من خلال دراسة طيف الانبعاث وتحليله فإذا تغيير الطيف يعرف أنه إنتقل الى طبقة جديدة.فى الواقع بدأ إستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر علي مساحات صغيرة من لوحات فنية ثمينة ولكن فى القريب العاجل سوف يصبح إستخدام هذه التقنية وسيلة معتمدة لتحليل اللوحات الفنية واستعادتها الى أصلها . وذلك من خلال إزالة الطبقات الغير مرغوب فيها طبقة طبقة حتى الوصول الى الطبقة الاصلية للوحة الفنية [2].

10.4 الخاتمة

أطياف البلازما الليزرية مصممة بشكل خاص فى مجال التحليل الطيفى المستخدم من قبل الفيزيائيين والكيميائيين. إن الخبراء فى علم الكيمياء التحليلية تمكنوا من تحديد المركب الكيميائي للمادة بهذه التقنية وتمكن العلماء من قياس الخصائص الفيزيائية مثل الكتلة ومعامل الانكسار والتوصيل الحرارى . وعلم الاطياف القائم علي إستخدام الليزر أصبح الان أداة أساسية فى علم التحليل. وتقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر أستخدمت لشرح وفهم كيف يستخدم الليزر فى التحليل فى الكثير من التتطبيقات فى مجال الأمن والتشخيص الطبي والطب الشرعى وفى الرعاية الصحية وفى علم الأثار والصور الفنية . وفى كل هذه التقنيات فإن علم التحليل يعتمد على إستحثاث العينة او المادة بواسطة الضوء أو الكهرباء أو المجال المغنطيسي ليحدث تغيير فى العينة فتكشف عن المركبات الكيميائية المكونة لها.

11.4 التوصيات

1/ الدعم المادى والمعنوى وتنشيط حركة البحث قى مجالات أطياف البلازما المستحثة باللليزر.

2/ توفير مصادر باللغة العربية حتى تساعد المبتدئين فى إستخدام هذه التقنية بسهولة ويسر وإبتكار طرق جديدة

3/ تنشيط طرق التبادل العلمى و المشورة العلمية بين البلدان العربية وذلك عن طريق عقد الندوات واللقاءات العلمية

4/ تشجيع التعاون مع الدول المتقدمة فى كافة المجالات وخصوصا فى مجال تقنية أطياف البلازما المستحثة باللليزر والإستفادة من خبراتها علي أن يكون ذلك قائم علي مبدأ المساواة

المراجع

[1] Journal of /volume 175m, issues 1-3, 15 March 2010, page 726-732 Hazardous Materials

[2] W.Demroder / Laser Spectroscopy / London/ Springer/2003.

[3] د.فاروق بن عبد الله الوطيان /1407 هـ ،1987 م / الرياض/ الليزر وتطبيقاتة

[4] أوازيوزفلتو /2003 م/ مبادئ الليزرات / دار الطباعة للنشر

[5] د. خالد عبد الحميد , د. وليد خلف حمودى / 1995 م / ضوئيات الكم والليزر

[6] د. سهام عفيف قندلا / الطبعة الاولى 1992 م بغداد / الليزر ألاسس الفيزيائية وبعض تطبيقات العلمية

[7]فرانسيس أرجنكيز , هارفى , أ. هوابت / 1983 م/ أساسيات البصريات / الطبعة الثالثة / الدار الدولية للنشر

[8]د. علاء الدين عبد الله , د. قاسم محمود علي , د. إبراهيم محمد علي / بيروت 1999 م/ الفيزياء التطبيقية الحديثة / الطبعة الاولي / دار الجيل

[9] د. وليد مصطفى صهيونى / جامعة البحث / قسم الفيزياء/ مقدمة فى فيزياء البلازما

[10] د. حازم فلاح سكيك / التحليل الطيفى المستحث بالليزر/3-4-2017 م/ قوقل + ويكبيديا

[11]د. حازم فلاح سكيك / جامعة الازهر / قسم الفيزياء / فيزياء الليزر وتطبيقاته / 4 - 4 - 2017 م / قوقل + ويكبيديا

[12] د. عاطف صالح الجندى , د. انور كامل الدويرى /1999م/ الفيزياء الكمومية / جامعة تشرين .

[13]هارفى / أساسيات البصريات / 1983 م/ الطبعة الرابعة

[14]د. عبد الله بن محمد الزير / التقدير الكمى لعناصر السبائك الصناعية بواسطة تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر /2005 / وزارة التعليم الغالي /جامعة الملك سعود

[15] د. محمد عبد القادر محرم / الطبعة الاولي / 2001 م/ دار النشر الجامعية / أساسيات وتطبيقات مطيافية رامان.

[16] د. عبد المنعم محمد السيد / الطبعة الثانية / 1997 م/ الدار العربية للنشر والتوزيع / التحليل الطيفى للانظمة الكيميائية

[17] مانيتون السمنودي / استخدام الليزر لدراسة اللوحات الفنية / ويكبيديا / 2017/4/1.