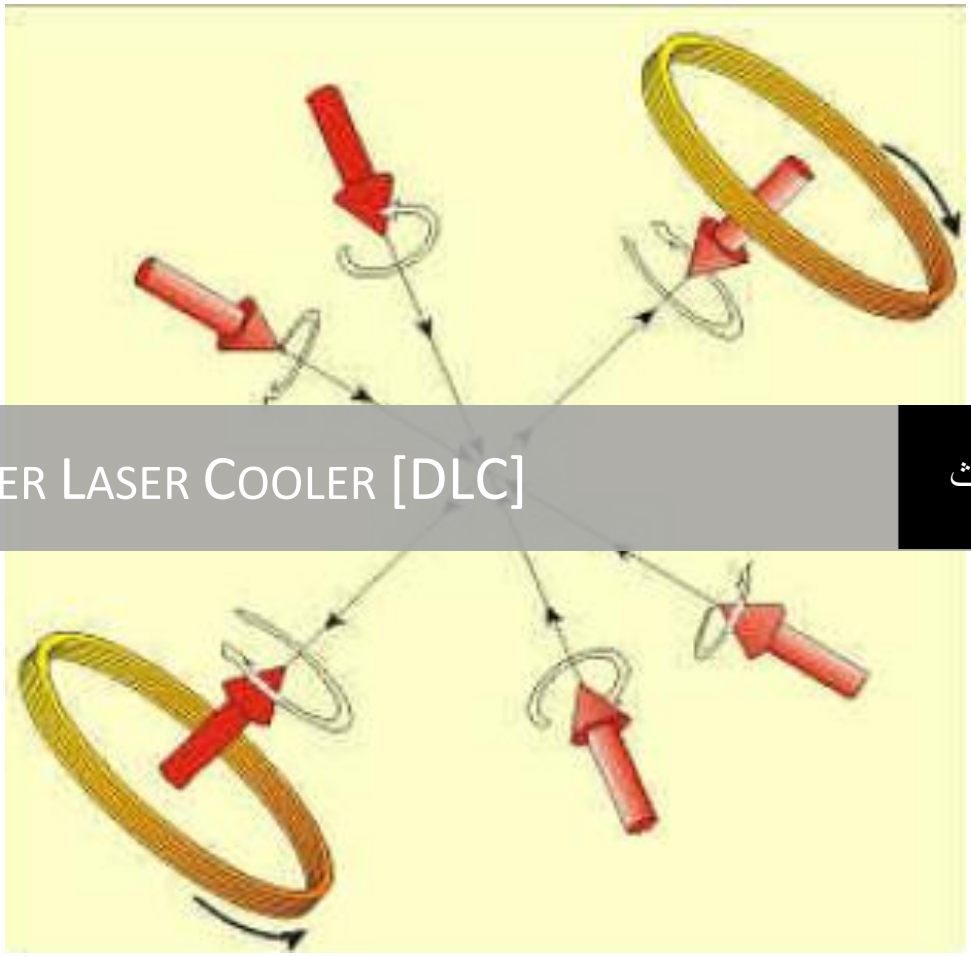
٢٠١٤-٢٠١٥



DOPPLER LASER COOLER [DLC]

مشروع بحث

المركز الوطني للمتميّزين

الجمهوريّة العربيّة السوريّة

وزارة التربيّة

المركز الوطنيّ للمتميّزين

مشروع بحث في مادّة الفيزياء:

Doppler laser cooler

تقديم الطلّاب:

أحمد عرب، عدنان الرّاوي، ميّار منصور، يزن السّيف، همام الوادي، أحمد مصطفى ، عبد اللطيف غجر.

بإشراف المدرّسين:

غسّان حايك، إبراهيم جنيدي

للعام الدراسي: 2014-2015

مقدّمة:

خلال أواخر خمسينيّات القرن العشرين اقترح الباحثون تصميماتٍ أوليّةٍ تستخدم الإشعاع المحفَّز لتضخيم الضّوء، وهذه كانت بدايات اختراع الليزر، ومنذ ذاك الحين والعلماء يتسابقون إلى إصدار أشعّة الليزر بطرقٍ مختلفة، فمنهم من استخدم قضباناً من الياقوت، ومنهم من أنشأ ليزراتٍ غازيّة، وآخرون صنعوا ليزرات أشباه الموصلات. ومنذ اختراع الليزر ظهرت العديد من الاستخدامات المفيدة له، فقد استخدم في المجال الطبّيّ وفي المجال العسكريّ وفي المجال العلميّ في المختبرات وفي مجالات الجيولوجيا والبيولوجيا، وقد استطاع العلماء استخدامه في مجال التسخين والحرق، فقد استطاعوا تقطيع المعادن بدقّة كبيرة باستخدام الليزر، ولكن لماذا الليزر دون غيره؟! بكلّ بساطة لأنّ الليزر يستطيع حمل الطّاقة لمسافة بعيدة وبسرعةٍ هائلةٍ، فيمكننا أن نسخّن أيّ مادّة عن بعد، ويمكننا تفكيك عبوّة ناسفة دون تعريض حياة إنسانٍ للخطر، ويمكننا تزويد مركبةٍ فضائيّة بعيدة بالطّاقة في حال نفاد وقودها أو حصول أمرٍ طارئٍ لها، لكن وبوجود كلّ هذه الاستخدامات لليزر هل يمكننا استخدامه في التبريد؟، ولقد اخترنا الليزر لهذا الهدف لسببٍ; إنّ آليّات التبريد التقليديّة تقوم بالتأثير على متغيّرات الحالة من ضغطٍ وحجمٍ، فهي إذاً تؤثّر على المستوى الماكروي، أمّا الليزر فيؤثّر على كلِّ ذرّةٍ على حدا، أي أنّه يؤثّر على المستوى المايكروي، وبالتالي فقد يعطينا ذلك ميّزات أكثر ممّا تعطينا إيّاه الطرائق التقليديّة في التبريد، فقد نستطيع إيصال المادّة لدرجة الصّفر المطلق. وفي هذا البحث سنحاول التحقّق من إمكانيّة استخدام الليزر في التبريد، وسندرس هذا التأثير على عيّنة من الصوديوم.

أهداف البحث:

١) التحقّق نظريّاً من امكانيّة استخدام الليزر في التّبريد، ودراسة ذلك على عيّنة من الصوديوم.

٢) التأكّد عمليّاً من امكانيّة الليزر في تغيير درجة حرارة الأجسام.

الفصل الأوّل

- نبذة تاريخيّة عن الليزر.
- علاقة الليزر بالذرّة.
- امتصاص الضّوء.
- إصدار الضّوء.
- الإصدار المحثوث.
- آليّة عمل الليزر.
- خواص حزمة الليزر.
- بعض أنواع الليزر.

نبذة تاريخيّة عن الليزر:

"خلال أواخر خمسينيّات القرن العشرين اقترح الباحثون تصميمات أولية تستخدم الإشعاع المحفَّز لتضخيم الضوء وينسب إنشاء التّصميم الأساسيّ لليزر إلى عددٍ من الأشخاص منهم الفيزيائيّ الأمريكيّ "آرثر شاولو" والفيزيائيّين الروسيّين "ألكسندر بروخروف" و"نيكولاي باسوف" والمخترع الأمريكيّ "جوردون جولد" وقد شيّد الأمريكيّ "ثيودور ميمان" أوّل ليزرٍ في عام" ١٩٦٠م" واستخدم فيه قضيباً من الياقوت، وفي أواخر ذلك العام شيّد الفيزيائيّ "علي جافان" أوّل ليزر غازيّ وفي عام" ١٩٦٢م" تمكّنت ثلاث مجموعاتٍ من العلماء الأمريكيّين تعمل كلّ منها على حدا من تشغيل أولى ليزرات أشباه الموصلات. وكلمة "ليزر" تعني تضخيم الضّوء بالإصدار المحثوث للأشعّة:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وقد تمّ تطوير عددٍ كبيرٍ من أجهزة الليزر منذ هذا الاختراع حتى يومنا هذا وكما استخدم الليزر في الكثير من التّطبيقات سواءً في الصّناعة أو الطبّ أو الأبحاث العلميّة فيكاد لا يوجد مخبر فيزياءٍ إلّا وفيه جهاز ليزر والباحثون على اقتناع بأنّ أكثر استخدامات الليزر إثارةً وثوريّةً لم يحن أوانها بعد"[١].

علاقة الليزر بالذّرّة:

من خلال ما ذكرنا سابقاً يمكننا القول أنّ الليزر ما هو إلّا ضوء مكبّر بواسطة عمليّة تسمى الانبعاث المحثوث للإشعاع، فمن خلال الفكرة التالّية سوف نجد تعريفاً مبسّطاً لليزر وهو الجهاز الذي يتحكّم بالذّرات لتحرير الفوتونات، ففي الليزر يوجد المادّة التي تنتج الليزر حيث تتمّ إثارتها بواسطة عمليّة الضّخّ للإلكترونات من المستوى الأرضيّ إلى مستوى الإثارة حيث يستخدم للضّخّ الإلكتروني ضوء فلاشٍ قويٍّ أو بواسطة التفريغ الكهربائيّ ويساعد هذا الضخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصبح مادّة الليزر مكونة من ذرّاتٍ ذات إلكتروناتٍ مثارةٍ ونسمّيها بالذرّة المثارة ومن الجدير بالذّكر أنّه من الضروري جدّاً إثارة عددٍ كبيرٍ من الذّرات للحصول على ليزرٍ، وتسمّى

[١] سلّوم، د.عقيل، الليزر واستخداماته، المحاضرة الخامسة، الصفحة (٣)

هذه العمليّة بانقلاب التعداد أي جعل عدد الذّرّات المثارة في مادّة الليزر أكبر من عدد الذّرّات الغير مثارة." قلب التّعداد هو الذي يجعل الضّوء الذي تنتجه المادّة ليزراً وإذا لم نصل إلى مرحلة انقلاب التّعداد نحصل على ضوء عادي وكلّما امتصّت الإلكترونات طاقة كبيرةً من خلال عمليّة الضّخ فإنّ الإلكترونات هذه تطلق الطّاقة التي امتصتها في صورة فوتونات أي ضوء، والفوتونات المنبعثة لها طول موجي محدّد (ضوءٌ بلونٍ محدّدٍ) يعتمد على فرق مستويات الطّاقة التي انتقلت بينها الإلكترونات المثارة وإذا كان الانتقال لكافّة الإلكترونات بين مستويي طاقةٍ محدّدين فإن كل الفوتونات المنبعثة سيكون لها نفس الطّول الموجي"[٢].

[٢] المرجع السّابق، الصفحة (٧)

امتصاص الضّوء:

نعلم أنّ امتصاص الضّوء يحدث إذا وجد في المادّة سويتي طاقة مقدار اختلاف طاقتيهما يساوي طاقة الفوتون الوارد من خلال الحزمة الضّوئيّة على أن تكون السّويّة الدّنيا مأهولة أي هناك إلكترون على الأقلّ في هذه السّويّة، عند امتصاص الفوتون ينتقل الإلكترون من السّويّة الطّاقيّة الدّنيا إلى السّويّة الطّاقيّة العليا، إنّ امتصاص فوتون يتعلّق بكثافة الطاقة الضّوئيّة ρ وهي الطّاقة الضّوئيّة المتواجدة في واحدة الحجم في المنطقة التي يعبرها الضّوء، ومن ناحية أخرى يتعلّق الامتصاص بمعامل الامتصاص وهو مقدار مختلف من مادّة إلى أخرى ومن سويّة إلى أخرى في المادّة الواحدة. ونرمز لمعامل الامتصاص بالرّمز B .

لنفترض وسطاً يحتوي ذرّات لها سويتين طاقيّتين أساسيّة ومثارة فرق الطّاقة بين السّويتين يساوي hf ونفترض أنّ عدد الذّرّات في السّويّة الأساسيّة يساوي N ، ونفترض أنّ كثافة الطّاقة الضّوئيّة للإشعاع الضّوئيّ ذو التّواتر f يساوي ρ

إنّ عدد الذّرّات التي تمتص الضّوء لتنتقل إلى السويّة المثارة خلال زمن dt يساوي:

$$"dN = -NB\rho dt"$$ [٣]

إصدار الضوء:

إذا وجدت في المادّة سويّة مثارة مأهولة أي تحتوي إلكترون، فإنّ هذا الإلكترون سوف ينتقل إلى سويّة أدنى ممّا يؤدّي إلى إصدار فوتون، نسمّي هذا الإصدار الذي يجري بشكل عفوي بالإصدار التّلقائيّ، نفترض أنّه لدينا N^* ذرّة مثارة، إنّ عدد الذّرّات التي تنتقل بشكل تلقائيّ إلى السّويّة الأساسيّة يساوي:

$$"dN^* = -N^*Adt"$$ [٤]

[٣] منهاج الفيزياء، الصف الثالث الثانوي، المركز الوطني للمتميّزين، صفحة (١٥٦)
[٤] المرجع السابق، صفحة (١٥٧).

حيث A معامل الإصدار التّلقائيّ.

نلاحظ أنّ هذا الإصدار مستقلّ عن كثافة الطّاقة الضّوئيّة بجوار الذّرّة المثارة.

الإصدار المحثوث:

إلى جانب الإصدار التّلقائيّ يوجد نوع آخر هو الإصدار المحثوث وهذا الإصدار يتعلّق بكثافة الطّاقة الضّوئيّة بجوار الذّرّة المثارة، ونعرّف له معامل نرمز له $B^{\backslash}$ ونسمّيه معامل الإصدار المحثوث، نبرهن أنّه عموماً $B = B^{\backslash}$.

فإذا تواجدت مجموعة ذرّات مثارة عددها N^* في منطقة تحتوي إشعاع ضوئيّ بتواتر يوافق الانتقال بين السّويّتين، وبكثافة طاقيّة ρ فإنّ عدد الذّرّات التي تنتقل إلى السّويّة الأساسيّة بالإصدار المحثوث خلال زمن يُعطى بالعلاقة:

$$"dN^* = -N^*B\rho dt"$$ [٥]

ومن خواص الإصدار المحثوث أنّ الفوتون الصّادر له خواص الفوتون الذي أدّى إلى صدوره من حيث جهة الانتشار والتّواتر وطول الموجة المرافقة.

يستند عمل الليزر إلى ظاهرة الإصدار المحثوث، حيث يسمح الإصدار المحثوث بالحصول على حزمة ضوئيّة موجهّة وتتّمتع بتواتر وحيد (تقريباً).

آليّة عمل اللّيزر:

لننظر إلى وسط يحتوي عدد من الذّرّات يساوي N ذرّة، سوف نهتمّ بحالة بسيطة تكون للذّرّة فيها سويّة أساسيّة ومثارة، ونتجاهل بقيّة السّويّات، تكون بعض هذه الذّرّات في السّويّة الأساسيّة وبعضها الآخر في السّويّة المثارة، إنّ عدد الذّرّات التي تقوم بالامتصاص وتنتقل إلى السّويّة المثارة خلال الزمن dt:

$$dN = -NB\rho dt$$

[٥] المرجع السابق، صفحة (١٥٧).

وعدد الذّرّات التي تقوم بالإصدار وتنتقل إلى السّويّة الأساسيّة يساوي:

$$dN^* = -N^*(B\rho + A)dt$$

والنّسبة تساوي:

$$\frac{dN^*}{dN} = \frac{N^*(B\rho + A)}{NB\rho}$$

نلاحظ أنّه لكي يكون عدد الفوتونات الصّادرة أكبر من عدد الفوتونات الممتصّة يجب أن يكون:

$$N^*(B\rho + A) > NB\rho$$

وهذا ما يسمّى بانعكاس الأهليّة.

وفي حالة الليزر ذو كثافة الطّاقة الضّوئيّة الكبيرة بما يسمح بإهمال الحدّ A بالنّسبة للحدّ الآخر فنجد أنّ شرط انعكاس الأهليّة:

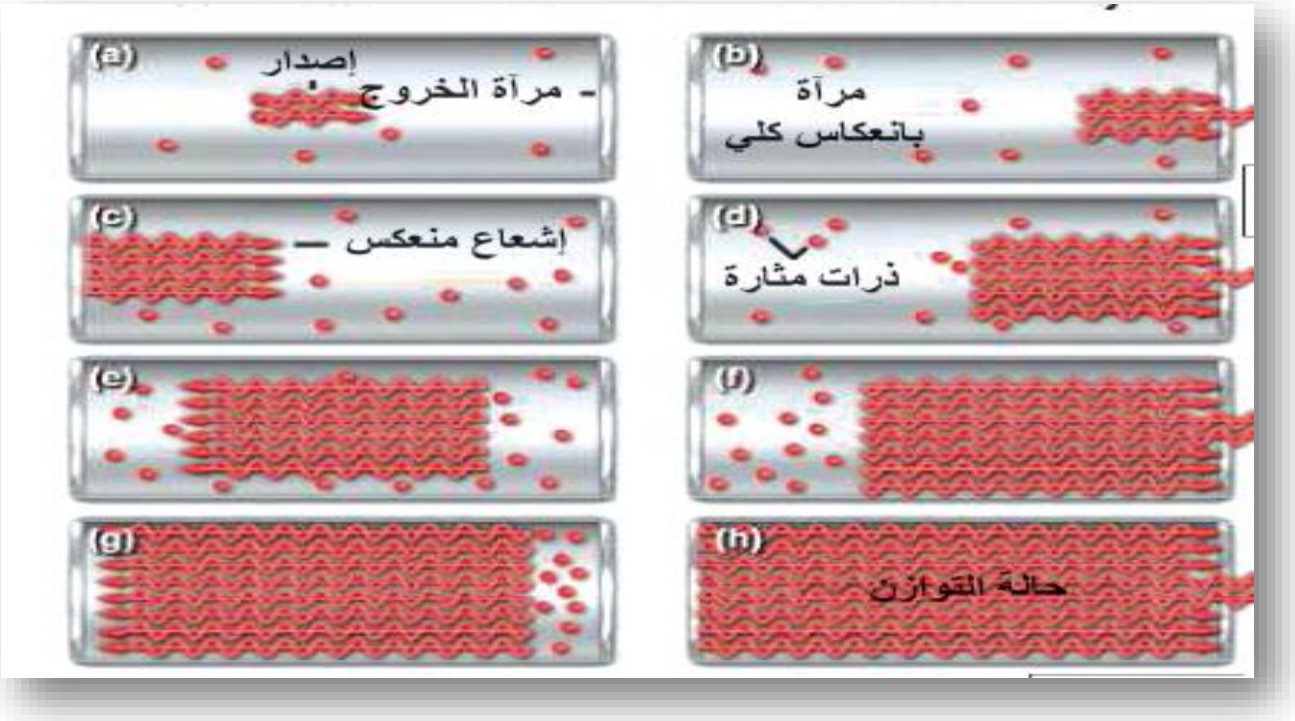
$$N^* > N$$

وهو شرط أساسيّ للحصول على الليزر.

إذا تحقّق الشّرط السّابق فإنّه بالإمكان تضخيم الضّوء حيث يكون عدد الفوتونات الصّادرة أكبر من عدد الفوتونات الممتصّة، ويكون لدينا وسط مضخّم.

نعتمد على الفكرة السّابقة لصناعة الليزر، حيث نقوم بإعادة تمرير الحزمة في الوسط المضخّم مرّات عديدة ووفق المنحى نفسه حتّى نحصل على استطاعة كافية. ولمّا كان الإصدار المحثوث يعيد الذّرّات إلى السّويّة الأساسيّة، فلا بدّ من مؤثّر خارجي على الوسط يجعله يحافظ على انعكاس الأهليّة، ويقوم هذا المؤثّر الخارجي بضخ الطّاقة بطرق مختلفة، مثل الانفراغ الكهربائيّ، أو إثارة الذّرّات إلى سويّة مثارة ثانية أعلى من الأولى ثمّ تعود هذه الذّرّات إلى السويّة المثارة الأولى ممّا يؤمّن انعكاس الأهليّة. نستخدم لذلك منبع ضوئيّ مثل مصباح الكزينون أو ليزر آخر.

لإعادة تمرير الضّوء في الوسط المضخّم نستخدم مرآتين، الأولى عاكسة كليّاً والثّانية عاكسة جزئيّاً تخرج منها حزمة الليزر. تشكّل جملة المرآتين ما يسمّى بحجرة تجاوب.



الشكل ١

(الشكل ١): يوضّح هذا الشّكل آليّة توليد الحزمة، نجد في الشّكل وسط مضخّم بين مرآتين اليسرى عاكسة كليّاً، واليمنى جزئيّاً، نلاحظ أنّ الحزمة تتضخّم كلمّا عبرت الوسط المضخّم، بالرغم أنّها تخسر جزء من طاقتها عند انعكاسها على المرآة اليمنى، ولكن بعد فترة تصل إلى حالة توازن يكون فيها ما تخسره عند الانعكاس على المرآة اليمنى مساوياً لما تربحه نتيجة ذهاب وإياب في الوسط المضخّم.

خواص حزمة الليزر:

تتمتّع حزمة الليزر بالخواص التّالية:

١) حزمة الليزر وحيدة اللّون، فكلّ الفوتونات التي تحتويها يجري الحصول عليها بالإصدار المحثوث ومن ثمّ فهي تتمتّع بالتّواتر نفسه. والعرض الطّيفيّ صغير، أي إنّ تأرجح التّواتر حول التّواتر المركزي صغير مقارنة بالمنابع الأخرى غير الليزريّة.
٢) حزمة الليزر مترابطة، إنّ الفوتونات الناجمة عن الإصدار المحثوث تتمتّع بطور الفوتون الذي حثّها، وهذا يسمح بالحصول على شكل تداخلي باستخدام الليزر.
٣) تباعد الحزمة صغير من رتبة الميلّي راديان.

بعض أنواع الليزر:

١) ليزر هيليوم نيون: هو ليزر مستمر يستخدم كثيراً في المخابر يتمتّع بطول موجة تساوي $\lambda = 0.638\mu m$ ويعمل باستطاعة من رتبة $1mW$. يستخدم في الانفراغ الكهربائيّ لتحقيق انعكاس الأهليّة.
٢) ليزر CO_2: يمكن لهذا الليزر أن ينتج استطاعة عالية تصل إلى عدّة ملايين من الواطات، ويستخدم في لحم المعادن. طول موجة الليزر $\lambda = 10\mu m$ ويمكن أن يعمل بطول موجة $\lambda = 9.6\mu m$. كما يمكن استخدامه في تصنيع مشرط ليزر طبّيّ.
٣) ليزر نصف النّاقل: إنّ الليزر الذي تجده في الأسواق بحجم لا يزيد عن عدّة سنتيمترات ويصدر باللّون الأحمر هو أحد أشكال ليزر نصف النّاقل، ويمكن صناعة ليزرات نصف ناقلة أبعادها من رتبة الميكرون. ويستخدم بكثرة في الاتصالات.

الفصل الثاني

- طرائق التبريد التقليديّة.
- مضار أنظمة التبريد التقليديّة.

طرائق التّبريد التقليديّة:

لمعرفة فعاليّة وفائدة التبريد بالليزر لا بدّ من الاطّلاع على بعض نظم التّبريد التقليديّة وفعاليّتها ومقارنتها مع التّبريد بالليزر. وهنالك أنواع عدّةٌ لنظم التبريد التقليديّة فمنها ما يعتمد على سوائلٍ كالزيت أو الماء ومنها ما يعتمد على غازاتٍ كالهواء. ولكن جميعها لديها سلبيّات كثيرة تجعلنا نفكّر بشكلٍ جدّيّ بطرائق أخرى للتبريد، كالتبريد بالليزر مثلاً، ومن هنا انطلق بحثنا هذا، ومن هذه السلبيّات الأضرار البيئيّة الكثيرة التي تسبّبها المواد الكيميائيّة الكثيرة التي تستخدم في تصنيع نظم التبريد من جهة وتشغيلها من جهة أخرى.

١) التبريد بالزيت: وهو زيت المحرّك المعروف حيث توجد مجاري للزيت تتخلّل جميعٌ أجزاء المحرّك بما فيها عمود الكرنك، وأكثر ما تستخدم هذه الطريقة في السيّارات .

مهمة الزيت: يجب أن يكون الزيت أكثر لزوجة كلّما زاد التحميل الواقع على المحمل وارتفعت درجة حرارته، وذلك لخفض سرعة انزلاق السطوح فوق بعضها البعض. ويؤدّي الزيت دور المبرّد للجزء الذي يقوم بتزييته فعليه حمل الحرارة النّاجمة عن الاحتكاك في كراسي التحميل أو الجزء المتحرك أو أيّة حرارة أخرى ناتجة عن أسباب أخرى كالاحتراق مثلاً، وفي هذه الحالة يجب أن يحافظ على درجة حرارته في الحدود العمليّة، إذا ما لامس مناطق ساخنة.

"يميل الزيت إلى التمازج بالهواء في الأنظمة بالضغط ويزيد ذلك وجود غازات الاحتراق المتسربة إلى حوض التزييت ممّا يزيد في درجة حرارتها ويولّد مشاكل جديدة و خصوصا الأكسدة عندما يكون الزيت مدرّراً (كما يحدث عند العمل)، وبناءً على ذلك يجب على الزّيت أن يكون مقاومته للأكسدة عاليةً من جهة ومن جهة أخرى يجب أن يتحمّل تدهور الحموض العضويّة تباعاً وتشكّل أوساخ الأكسدة، وهذا يقود إلى أن يصبح أكثر كثافةً و ترسيباً للمواد غير المنحلة، فتلوّث الزيت يحدث ضعف غشاء الزيت

بسبب التسرّب و كذلك ترسّب زوائد وأوساخ على القطع المحتكّة أو المعرّضة للزيت وخصوصا وجود نواتج الاحتراق أو وقود غير محترق كليّا فتزداد لزوجة الزيت"[٦].

أهم وظائف التزييت:

١-التقليل من تآكل الأجزاء المتحركة.

٢-التقليل من الطاقة المفقودة بوساطة الاحتكاك.

٣-تبريد الأجزاء المتحركة.

٤-الحفاظ على ضغط المحرك.

٥-الحفاظ على الأجزاء المتحركة نظيفة من المواد الصمغية والحمضية.

وتتكون مجموعة التزييت من:

١-الزيت: يجب استعمال الزيت الموصى به من قبل منتج السيارة لما له من مميزات تجعله يقوم بوظيفته بكفاءة عالية، ويجب أن تتوفّر في زيت المحرّكات هذه الخواص:

-درجة لزوجته كافية حتى تحت درجات الحرارة العالية.

-درجة تبخره عالية.

-درجة تجمده منخفضة.

-لا يتفاعل مع الأجزاء التي يلامسها.

-لا يكوّن رواسب كربونية.

٢-حوض الزيت: وهو خزّان للزيت يركّب أسفل المحرك.

[٦] علم المواد، مهنة التبريد والتكييف، الأوّل الثانوي الصناعي، الصفحة (٣٠).

٣–مضخّة الزيت: يمر الزيت من الحوض إلى المصفاة لحجز الشوائب ثم يمر داخل المضخة لتدفعه إلى مرشح الزيت.

أنواع الزيوت المستخدمة:

١–الزيوت المعدنية: تستخلص هذه الزّيوت من النّفط والقطران والفحم الحجري، وذلك بالتقطير المتبوع بالتكرير. تتّصف بأنّها خالية من الحموض ولها درجة غليان واشتعال عالية، وكذلك رخيصة الثمن.

٢–الزيوت النباتية: تستخلص من زيت الزيتون وزيت البنجر وغيرهما بعصر البذور النباتية، ولهذه الزيوت خواص تزييتية جيدة ولكنها تتحول إلى راتنج وتصبح حمضية وتستخدم في الورش كمواد تزييت وتبريد المعادن أثناء قطعها.

٣–الزيوت الحيوانية: تستخلص من شحوم الحيوانات بالصهر أو الغلي ولها خواص الزيوت النباتية نفسها وتستخدم في صناعة بعض الأغراض الخاصة مثل: (يستخدم زيت الحوافر لتزييت الآلات الدقيقة والساعات لأنه لا يتعفن بسهولة ويجف ببطء).

ويوجد أنواع أخرى للزيوت مثل الزيوت الغرافيتية وزيوت الخدمة الشاقّة والزيوت السيليكونية.

٢) التبريد بالماء:

تتكوّن وحدة التبريد بالماء من وعاءين أحدهما ضمن أجزاء المحرّك يسمى قميص التبريد والآخر يتصل بالمحرك يسمى الوشع.

قميص التبريد: يشبك قميص التبريد مع أسطوانات المحرّك، لذا فهو يتكوّن من قميص كتلة الأسطوانات أي (الحيز الذي يحيط به)، وقميص رأس الأسطوانات (التجاويف الذي تحيط بالأجزاء الساخنة)، ويملأ قميص التبريد بالماء البارد ليمتص الحرارة من المحرك أثناء التشغيل.

المشع: هو الوعاء الآخر الذي يمر فيه الماء الساخن، وهو ذو سطح متسع وجدران رقيقة ومعرضة للهواء.

-الغرض منه: يعمل كمبادل حراري حيث يعمل على تبريد المياه الساخنة الواردة إليه من قميص التبريد حيث تتسرب حرارة المياه الزائدة إلى الهواء بخاصية الإشعاع والحفاظ على حرارة المحرك.

-موضع تثبيته: يثبت غالبا في مقدمة المركبة أمام المحرك حتى يواجه التيارات الهوائية.

-معدنه: الخزان العلوي والسفلي من سبيكة الألمنيوم وأنابيب الإشعاع من النحاس الأحمر.

طرق التبريد في نظام التبريد بالماء:

أوّلاً: الطريقة الطبيعيّة[٧]:

يتوقّف عمل هذه الدّورة على خاصيّة انتقال الحرارة بالحمل عند تسخينها، حيث ترتفع درجة حرارة الطبقات القريبة من المصدر الحراري وتتمدّد ويزداد حجمها فتقل كثافتها فترتفع الطبقات الساخنة إلى الأعلى ويحلّ محلّها الطبقات الأقل حرارة وينتج عن ذلك تيّار مائي مستمر حيث أنّه: عندما ترتفع الطبقات السّاخنة للماء في قميص التبريد للأعلى تتّجه للخزّان العلوي المشع عن طريق الوصلة المطّاطيّة لتهبط في أنابيب الإشعاع المعرّضة لتيّار الهواء الذي ينشأ عند تحريك المركبة، وبذلك تتخلّص مياه التبريد من الحرارة الممتصّة من المحرّك وتبرد أثناء مسيرها إلى الخزّان السفلي للمشع ومنه لقميص التبريد مرّة أخرى.

عيوبها:

١- لا تصلح إلّا للمحرّكات الصغيرة.

٢- تحتاج إلى كمّية كبيرة من مياه التبريد.

[٧] تكنلوجيا البريد والتكييف، صفحة (١٠٤).

٣- تحتاج إلى أنابيب ذات مقاطع كبيرة.

٤- عدم انتظام معدّل التبريد على السّرعات المختلفة.

ثانياً: دورة التبريد الجبريّة أو الآليّة:

تستعمل على المحرّكات الحديثة، وتستخدم نظم التيّارات الجبريّة لكلٍّ من الماء بالمشع بدلاً من التيّارات الطبيعيّة الموجودة في قميص التبريد والمشع والهواء المار حول أنابيب الإشعاع.

عيوبها:

١- حدوث متاعب للمحرّك إذا تلف أحد أجزاء الدّورة.

٢- تعتبر مضخّة الماء حاجز في طريق ماء التبريد.

٣- ضرورة استخدام حاكم حراري.

ثالثاً: نظام التبريد بالهواء: وله عدّة أنواع:

١- النّظام البسيط للتبريد بالهواء:

يستخدم هذا النّظام على المحرّكات الصغيرة المستخدمة على الدّرّاجات النّاريّة وفيه يجهّز السطح الخارجيّ للأسطوانات بعدّة زعانف وتزداد هذه الزّعانف عدداً وعمقاً كلّما اقتربت من رأس الأسطوانة أي الأكثر حرارة.

١- النّظام الجبري للتبريد المباشر للهواء:

يستخدم هذا النّوع على المحرّكات الكبيرة مثل السّيّارات والجرّارات ويعتمد هذا النّوع على ضرورة وجود تيّار هوائي مستمر وسريع.

يتمّ سحب الهواء عن طريق مروحة وتدفعه لغلاف المعدني الذي يغطّي الأسطوانات وغيرها من الأجزاء السّاخنة، وتعمل الحواجز المعدنيّة الخفيفة على توجيه الهواء لكلّ اسطوانة.

مضار أنظمة التبريد التقليديّة:

لقد لاحظنا في أنظمة التبريد التي ذكرناها مسبقاً وجود عوامل مضرّة كثيرة ساءً بالصحّة البشريّة أو بالبيئة.

"إذا حدث أيّ خللٍ في الأجهزة المعتمدة على أنظمة التبريد فإنّ إصلاحها يحتاج إلى تكلفة عالية وأيضاً غاز الهيدروجين المستخدم في التبريد في بعض أنواع البرّادات قابل للانفجار فهذا يشكّل خطراً كبيراً على الحياة البشريّة، لكن استطاع العلماء في المجتمعات الأكثر غنىً استبدال غاز الهيدروجين بغاز الفريون، الذي يعتبر غير خطيراً بشكلٍ مباشر على حياة الإنسان ولكنّ مضرّ جدّاً بالبيئة وغير متاح لجميع المجتمعات"[٨].

هذه الأسباب وغيرها الكثير أدّى بنا للتفكير بطريقةٍ للتبريد أكثر تحضّراً وصحّةً وأقلّ ضرراً بالإنسان والحيوان والنبات والبيئة بشكلٍ عام، وذلك للتقليل من الخسائر المادّية عموماً والبشريّة خصوصاً.

[٨] تكنلوجيا التبريد والتكييف، صفحة (٢٠٨).

الفصل الثالث

- مبدأ عمل التبريد بالليزر.
- القواعد الأولى للتبريد بالليزر:

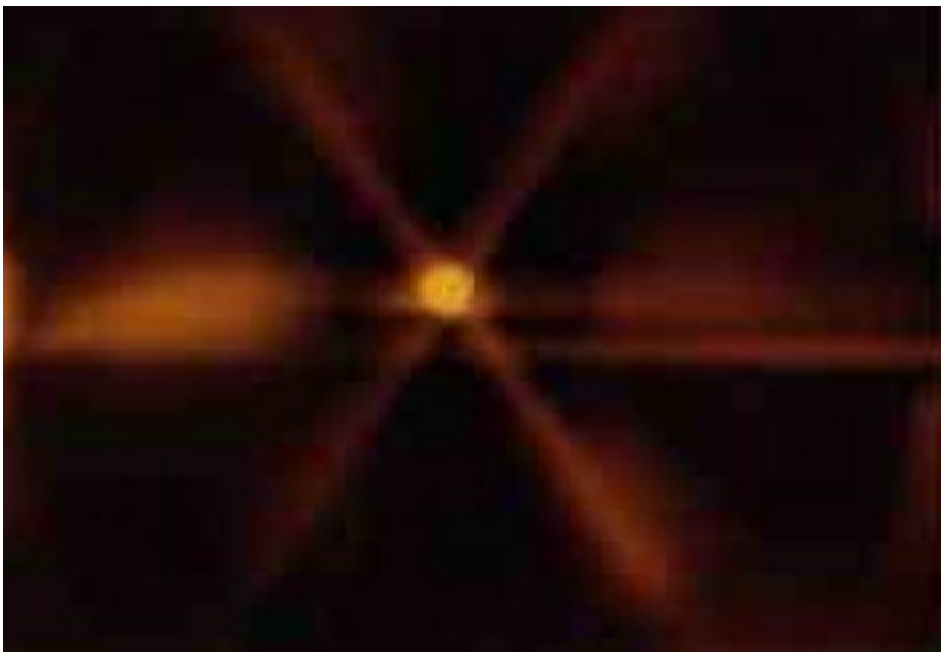
١) امتصاص الفوتون.
٢) الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه (x-).
٣) الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه (x+).
٤) متوسّط الإصدار بعد الامتصاص.
٥) انتقال الطّاقة وكمّيّة الحركة.
٦) الطّاقة وكمّيّة الحركة المنتقلة من أشعّة الليزر موجّهة في الاتّجاه (x+).

- أساسيّات المخمّد الضّوئي:

١) القوّة المطبّقة من قبل شعاع الليزر على عيّنة ذرّات.
٢) حدّ السرعات المنخفضة.
٣) التخميد الضّوئي.

مبدأ عمل التبريد بالليزر:

إنّ الهدف من اقتراح هذه المشكلة هو تطوير نظريّة بسيطة لفهم آلية التبريد بالليزر وفهم ظاهرة التخميد الضّوئيّ لحركة الذرّات، ونحن هنا بصدد دراسة التبريد الذي يمكن أن تحدثه أشعّة الليزر لذرّاتٍ طبيعيّة ذات طبيعةٍ قلويّةٍ، من خلال توليد شعاعين ليزريّين من جهتين متعاكستين وبنفس التّواتر.



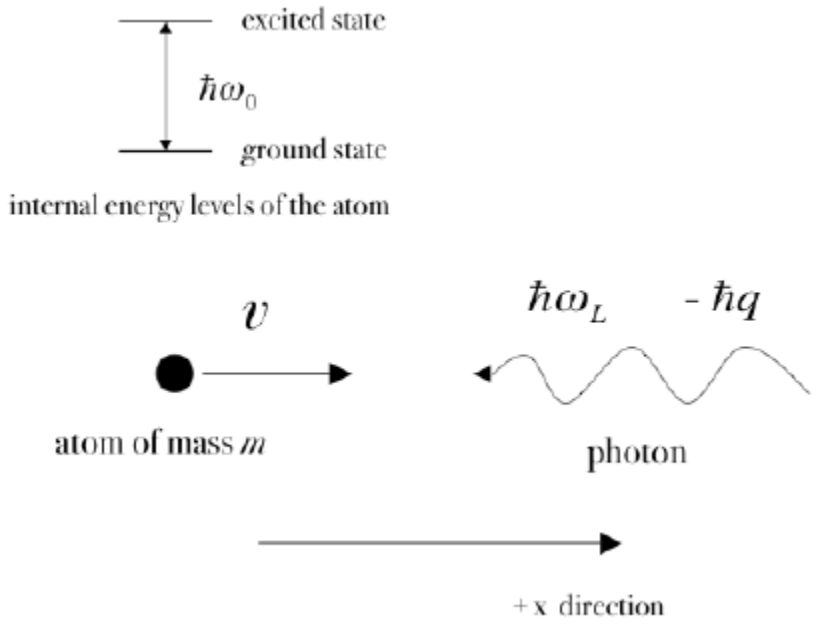
الشكل(٢)

الشكل(٢) يظهر ذرّات صوديوم (البقعة المضيئة في المنتصف) مسلّطاً عليها ثلاث أزواجٍ متعامدةٍ من الأشعّة الليزريّة المتعاكسةٍ. المنطقة التي تكون ذرّات الصوديوم محصورةً فيها تدعى منطقة التّخميد الضّوئيّ لأنّ ذرّات عيّنة الصوديوم المتواجدة في هذه المنطقة تواجه قوّة اخمادٍ لحركتها الانسحابيّة من قبل الأشعّة الليزريّة.

خلال بحثنا هذا سنحاول تحليل ما يحدث في منطقة التّخميد الضّوئيّ عندما تتصادم فوتونات الأشعّة الواردة مع ذرّات عيّنة الصّوديوم المراد تبريدها، وسندرس آليّة التّخميد في بعدٍ واحد.

الجزء الأوّل: القواعد الأولى للتبريد بالليزر:

لنفرض ذرّةً ذات كتلةٍ m تتحرّك في الاتّجاه $+x$ بسرعة v . للتّبسيط سنقوم بالدراسة في بعدٍ واحد، أي أنّنا سنهمل الاتّجاهات y و z . تحوي الذرّة على سويّتين طاقيّتين، ولنفرض أنّ طاقة السويّة الطّاقيّة الأرضيّة تساوي صفر، وأنّ طاقة السويّة الثّانية تساوي $\hbar\omega_0$ ، حيث $\hbar = \mathrm{h}/2\pi$ (h ثابت بلانك). في البداية الذرّة تكون في السويّة الطاقيّة الأرضيّة. يسلّطُ على الذرّة شعاع ليزرٍ ذو تواتر ω_l في جملة المخبر في الاتّجاه $-x$. وحسب الميكانيك الكوانتي فالليزر مركّبٌ من عددٍ كبيرٍ من الفوتونات التي يحمل كلٌّ منها طاقةً تساوي $\hbar\omega_l$ وكمّية حركةٍ تساوي $-\hbar k$ حيث $k = 2\pi/\lambda$ (λ طول موجة أشعّة الليزر الواردة). إنّ الذرّة تستطيع امتصاص الفوتون لفترةٍ لحظيّة ثمّ يعيد إصداره، وهذا الاصدار يمكنه الحدوث باحتماليّة متساويةٍ للانبعاث بالاتجاه $+x$ و $-x$. ولنفرض أنَ $\frac{\hbar k}{mv} \ll 1$ أي أنّ كمّية حركة الذرّة أكبر بكثيرٍ من كمّية حركة فوتون وحيد.



الشكل(٣)

الشّكل(٣) يظهر ذرّة ذات كتلة m تتحرّك بسرعة v في الاتّجاه $+x$ ، تصطدم بفوتون ذو طاقة $\hbar\omega_l$ وكمّية حركة $-\hbar q$.

الذّرّة تملك سويّتين طاقيّتين فرق الطّاقة بينهما $\hbar\omega_0$.

امتصاص الفوتون:

مفتاح هذه المعضلة هو مفعول دوبلر، الذي يفضي إلى أنّ تواتر شعاعٍ ضوئيٍ أحاديّ اللون ساقطٍ على مراقبٍ يعتمد على حالة حركة هذا المراقب بالنّسبة إلى المصدر. التّواتر المُتلقّى هو:

$$\omega = \omega \sqrt{\frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}} \approx \omega \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

حيث v السرعة النسبيّة للمصدر والمراقب، ω تواتر المصدر. الإشارات العليا والسّفلى، على الترتيب، عندما يتحرّك المصدر والمراقب مقتربين أو مبتعدين عن بعضهم، والطرف الأيمن من المساواة التقريبيّة يصلح عند السّرعات الغير نسبيّة.

تواتر الليزر في جملة المخبر هو ω_l ، و ω_0 هو التواتر المطلوب لإثارة الذّرّة، والذّرّة تتحرّك بسرعة v باتّجاه الليزر الوارد.

شرط الطّنين من أجل أن تمتصّ الذّرّة الفوتون هو:

$$\omega_0 \approx \omega_l \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

أي يجب أن يكون تواتر اللّيزر الصّادر– الذّي تواتره الأصلي هو ω_l – بالنّسبة للذرّة المتحرّكة يساوي التّواتر ω_0 الذي يستطيع أن يثير الذّرّة إلى السّويّة الطّاقيّة الثانيّة.

وبعد امتصاص الذّرّة للفوتون تصبح كمّيّة حركة الذّرّة p_{at} بالنسبة لجملة المخبر:

$$p_{at} = p - \hbar q = mv - \frac{\hbar\omega_l}{c}$$

وتصبح الطّاقة الكلّية للذرّة: $E_{at} = \frac{p_{at}^2}{2m} + \hbar\omega_0 \approx \frac{mv^2}{2} + \hbar\omega_l$

الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه $(-x)$:

من أجل حساب طاقة الفوتون الصّادر يجب الانتباه إلى أنّ سرعة الذرّة قد تغيّرت بعد الامتصاص.

ويكون تواتر الفوتون الصّادر بالنّسبة لجملة المخبر:

$$\omega_{ph} \approx \omega_0\left(1-\frac{\acute{v}}{c}\right): \quad \acute{v} = v - \frac{\hbar q}{m} \Rightarrow \omega_{ph} \approx \omega_0\left(1-\frac{v}{c}+\frac{\hbar q}{mc}\right)$$

$$\approx \omega_l\left(1+\frac{v}{c}\right)\left(1-\frac{v}{c}+\frac{\hbar q}{mc}\right)$$

$$\approx \omega_l\left(1+\frac{\hbar q}{mc}\right) \approx \omega_l\left(1+\left(\frac{\hbar q}{mv}\right)\left(\frac{v}{c}\right)\right) \approx \omega_l$$

فتكون طاقة الفوتون الصّادر بالنّسبة لجملة المخبر في الاتجاه $(-x)$:

$$E_{ph} = \hbar\omega_l$$

وتكون كمّية حركته:

$$p_{ph} = -\frac{\hbar\omega_l}{c}$$

وتكون كمّية حركة الذرّة بعد إصدارها للفوتون في الاتّجاه $(-x)$ بالنّسبة لجملة المخبر:

$$p_{at} = p = mv$$

وتكون طاقتها:

$$E_{at} = \frac{p^2}{2m} = \frac{mv^2}{2}$$

الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه $(+x)$:

والحسابات هنا مشابهة لحسابات الفقرة السّابقة مع الانتباه لإشارة بعض الحدود. فتكون طاقة الفوتون بعد إصداره في الاتجاه$(+x)$ بالنّسبة لجملة المخبر:

$$E_{ph} \approx \hbar\omega_0\left(1+\frac{v}{c}\right) \approx \hbar\omega_l\left(1+\frac{v}{c}\right)\left(1+\frac{v}{c}\right) \approx \hbar\omega_l\left(1+\frac{2v}{c}\right)$$

وتكون كمّية حركته:

$$p_{ph} \approx \frac{\hbar\omega_l}{c}\left(1+\frac{2v}{c}\right)$$

وتكون كمّية حركة الذّرّة بعد إصدارها للفوتون في الاتجاه $(+x)$ بالنّسبة لجملة المخبر:

$$p_{at} = p - \hbar q - p_{ph} \approx p - \hbar q - \frac{\hbar\omega_l}{c}\left(1+\frac{2v}{c}\right) \approx mv - \frac{2\hbar\omega_l}{c}$$

أمّا طاقتها:

$$E_{at} = \frac{p_{at}^2}{2m} \approx \frac{mv^2}{2}\left(1-\frac{2\hbar q}{mv}\right)$$

متوسّط الإصدار بعد الامتصاص:

إنّ الإصدار التلقائيّ للفوتون يحدث في الاتجاه $+x$ و$-x$ بنفس الاحتماليّة، بأخذ هذا بعين الاعتبار ينتج لدينا:

متوسّط الطّاقة للفوتون بعد عمليّة الإصدار:

$$\overline{E_{ph}} = \frac{1}{2}E_{ph}^{+} + \frac{1}{2}E_{ph}^{-} \approx \hbar\omega_l\left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

متوسّط كمّية الحركة للفوتون بعد عمليّة الإصدار:

$$\overline{p_{ph}} = \frac{1}{2}p_{ph}^{+} + \frac{1}{2}p_{ph}^{-} \approx \frac{\hbar\omega_l}{c}\frac{v}{c} \approx mv\left(\frac{\hbar q}{mv}\frac{v}{c}\right) = 0$$

متوسّط الطّاقة للذرّة بعد عمليّة الإصدار:

$$\overline{E_{at}} = \frac{1}{2}E_{at}^{+} + \frac{1}{2}E_{at}^{-} \approx \frac{mv^2}{2}\left(1 - \frac{\hbar q}{mv}\right)$$

متوسّط كمّية الحركة للذرّة:

$$\overline{p_{at}} = \frac{1}{2}p_{at}^{+} + \frac{1}{2}p_{at}^{-} = p - \frac{\hbar\omega_l}{c}$$

انتقال الطّاقة وكمّية الحركة:

بافتراض عمليّة امتصاص إصدار كاملة لفوتون واحد، هناك متوسّط كمّية حركة وطاقة تنتقل بين الذرّة وأشعّة الليزر، بالاستناد على ما ورد سابقاً فإنّ متوسّط تغيّر طاقة الذرّة بعد عمليّة امتصاص وإصدار كاملة تكون:

$$\Delta E = \bar{E}_{at}^{after} - \bar{E}_{at}^{befor} \approx -\frac{1}{2}\hbar q v = -\frac{1}{2}\hbar\omega_l \frac{v}{c}$$

متوسّط تغيّر كمّية حركة الذّرّة:

$$\Delta p = \bar{p}_{at}^{after} - \bar{p}_{at}^{befor} \approx -\hbar q = -\frac{\hbar\omega_l}{c}$$

الطّاقة وكمّية الحركة المنتقلة من أشعّة ليزر موجّهة بالاتّجاه$(+x)$:

لنفترض الآن أشّعة ليزر بتواتر ω_l واردة بالاتجاه $+x$ بينما الذّرّة تتحرّك في الاتّجاه $+x$ بسرعة v ، وبافتراض حالة الطّنين مرّة أخرى، وبإجراء حسابات مشابهة لما مرّت معنا سابقاً، نجد أنّ متوسّط تغيّر طاقة الذرّة بعد عمليّة امتصاص وإصدار كاملة:

$$\Delta E = \bar{E}_{at}^{after} - \bar{E}_{at}^{befor} \approx +\frac{1}{2}\hbar q v = +\frac{1}{2}\hbar\omega_l \frac{v}{c}$$

ومتوسّط تغيّر كمّية الحركة:

$$\Delta p = \bar{p}_{at}^{after} - \bar{p}_{at}^{befor} \approx +\hbar q = +\frac{\hbar\omega_l}{c}$$

الجزء الثاني: أساسيّات المخمّد الضّوئيّ:

"إنّ الطّبيعة تفرض علينا بأيّ حالٍ من الأحوال عدم دقّة في العمليّات الكوانتيّة. لذلك حقيقة أنّ الذرّة تستطيع إصدار الفوتون آنيّاً بعد امتصاصه تعطينا كنتيجة أنّه من غير المُلزم تنفيذ شرط الطّنين بدقّةٍ كما ورد سابقاً. من ذلك فإنّ كلّاً من ω_l و $\grave{\omega}_l$ يمكن أن يأخذا أيّة قيمةٍ وعمليّة الامتصاص والاصدار ستبقى كائنة، ولكن ذلك يحدث باحتمالات كوانتيّة مختلفة، وكما المتوقّع فإنّ أقصى احتماليّة تتحقّق عندما يكون شرط الطّنين محققاً. بالمتوسّط فإنّ الزّمن الفاصل بين عمليّة امتصاصٍ وعمليّة إصدار يسمّى عمر السّويّة المثارة للذرّة ويرمز لها Γ^{-1} "[٩].

لنفرض مجموعةً مؤلّفةً من N ذرّة في حالة سكون في جملة المخبر، سُلِّط عليها شعاع ذو توتر ω_l . ستبقى الذرّات تمتصّ وتصدر فوتوناتٍ باستمرارٍ وكأنّه يوجد N_{exc} مثارة (وبالتّالي يوجد $N - N_{exc}$ ذرّة غير مثارة).

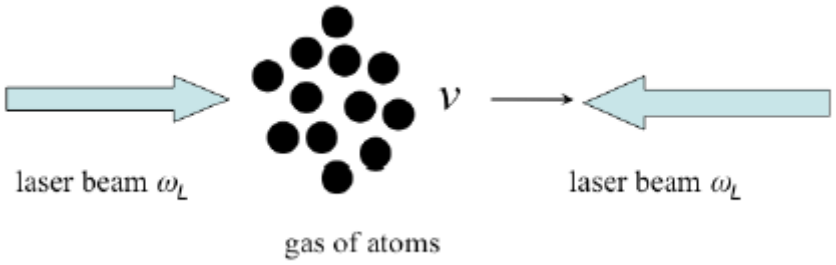
حسب الميكانيك الكوانتي لدينا:

$$"N_{exc} = N\frac{\Omega_R^2}{(\omega_0-\omega_l)^2+\frac{\Gamma^2}{4}+2\Omega_R^2}"$$ [١٠]

حيث ω_0 تواتر الطنين الذي فيه تساوي طاقة الفوتون فرق الطاقة بين السويّتين الطّاقيّتين الأرضيّة والمثارة، و Ω_R يدعى تواتر رابي(Rabi) وهو يتناسب طرداً شدّة أشعّة الليزر. ونستطيع أن نرى من العلاقة السّابقة أنّ N_{exc} لا تكون معدومة حتّى إذا كان تواتر أشعّة الليزر لا يساوي تواتر الطّنين.

عدد عمليّات الامتصاص والإصدار في واحدة الزّمن $N_{exc}\Gamma$.

[٩] Introduction to electrodynamics ، صفحة (٤٣٨).
[١٠] Optiics, Eugene Hecht ، صفحة (٣١٢).



الشّكل(٤)

الشّكل(٤): شعاعين ليزريّين ذوا تواتر ω_lمسلّطين من اتّجاهين متعاكسين على عيّنة ذات N ذرّة تتحرّك في الاتّجاه $+x$.

القوّة المطبّقة من قبل شعاع اللّيزر على عيّنة ذرّات:

القوّة تحسب على أنّها عدد دورات الامتصاص والإصدار مضروباً بتغيّر كمّية حركة الذرّات مقسوماً على زمن كلّ دورة.

ويجب أن ننتبه إلى أخذ فعل دوبلر بعين الاعتبار.

نعرّف: $P_{exc} = \frac{N_{exc}}{N}$

فتكون القوّة التي تطبّقها أشعّة الليزر على عيّنة الذرّات(مع افتراض $mv \gg \hbar q$):

$$F = N\,\Delta p^{-} P_{exc}^{-}\Gamma + N\,\Delta p^{+} P_{exc}^{+}\Gamma$$

$$= \left(\frac{\Omega_R^2}{\left(\omega_0 - \omega_l + \omega_l \frac{v}{c}\right)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2} - \frac{\Omega_R^2}{\left(\omega_0 - \omega_l - \omega_l \frac{v}{c}\right)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2} \right) N\Gamma\hbar q$$

حدّ السّرعات المنخفضة:

عند السّرعات المنخفضة تصبح علاقة القوّة:

$$F \approx -\frac{N\hbar q\Omega_R^2\Gamma}{\left((\omega_0-\omega_l)^2+\frac{\Gamma^2}{4}+2\Omega_R^2\right)}(\omega_0-\omega_l)v=-\beta v$$

من العبارة السّابقة نجد أنّ الشرط اللازم لتسريع ذرّات العيّنة هو $\omega_0 < \omega_l$

والشّرط اللازم لعدم إحداث إي أثر $\omega_0 = \omega_l$

والشّرط اللازم لتبطيء ذرّات العيّنة $\omega_0 > \omega_l$

وبإجراء الحسابات نفسها على ذرّاتٍ تتحرّك بسرعة $-v$ نجد أنّ الشرط اللازم لتبطيئها هو $\omega_0 > \omega_l$ إذاً فالشّرط لا يتعلّق بجهة حركة الذرّات.

التخميد الضّوئيّ:

في حال كانت القوّة التي يؤثّر بها الليزر على الذرّات سالبة، فإنّ هذه القوّة معيقةٌ لحركة الذرّات وكأنّها قوّة احتكاك.

نعتبر في اللحظة $t = 0$ أنّ الذرّات تملك سرعةً v_0. وفي حال السّرعات المنخفضة تصبح عبارة السّرعة بعد زمن قدره τ :

$$F = -\beta v = m\frac{dv}{dt} \quad \Rightarrow \quad v = v_0 e^{-\frac{\beta\tau}{m}}$$

لنفرض الآن أنّ الذرّات في حالة توازن حراري عند الحرارة T_0، فنستطيع أن نوجد العلاقة التي تعطينا درجة الحرارة T للعيّنة بعد زمن τ من تعريض العيّنة للّيزر، وبما أنّ دراستنا في بعدٍ واحد نستطيع أن نكتب:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}KT \quad \ldots\ldots\ldots \quad \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}KT_0 \quad \Rightarrow \quad T = T_0 e^{-\frac{\beta\tau}{m}}$$

ومن العلاقة النّهائيّة نلاحظ كيف تنخفض درجة الحرارة مع الزّمن.

الفصل الرابع

القسم العملي

الهدف من التجربة:

حساب معامل الامتصاص B للصوديوم.

الأدوات اللازمة للتجربة:

١) منبع ليزر، يطلق ومضات ليزريّة بزمن $1\ ms$ لكل ومضة، وذو استطاعة $\mathcal{P} = 2\ w$ ونصف قطر الحزمة الليزريّة الصّادرة عنه $r = 2\ mm$

الشكل (٥)

٢) حسّاس يقوم بقياس شدّة الضوء، ويقيس المدّة الزمنيّة لهذا القياس

الشكل (٦)

٣) صوديوم بكمّيّة $m = 1\ g$

الشكل (٧)

٤) غرفة مظلمة.

المبدأ النّظريّ للتجربة:

نعلم أنّ امتصاص الضّوء يحدث إذا وجد في المادّة سويتي طاقة مقدار اختلاف طاقتيهما يساوي طاقة الفوتون الوارد من خلال الحزمة الضّوئيّة على أن تكون السّويّة الدّنيا مأهولة أي هناك إلكترون على الأقلّ في هذه السّويّة، عند امتصاص الفوتون ينتقل الإلكترون من السّويّة الطّاقيّة الدّنيا إلى السّويّة الطّاقيّة العليا، إنّ امتصاص فوتون يتعلّق بكثافة الطاقة الضّوئيّة ρ وهي الطّاقة الضّوئيّة المتواجدة في واحدة الحجم في المنطقة التي يعبرها الضّوء، ومن ناحية أخرى يتعلّق الامتصاص بمعامل الامتصاص وهو مقدار مختلف من مادّة إلى أخرى ومن سويّة إلى أخرى في المادّة الواحدة. ونرمز لمعامل الامتصاص بالرّمز B . لنفترض وسطاً يحتوي ذرّات لها سويتين طاقيّتين أساسيّة ومثارة فرق الطّاقة بين السّويتين يساوي hf ونفترض أنّ عدد الذّرّات في السّويّة الأساسيّة يساوي N ، ونفترض أنّ كثافة الطّاقة الضّوئيّة للإشعاع الضّوئيّ ذو التّواتر f يساوي ρ، إنّ عدد الذّرّات التي تمتص الضّوء لتنتقل إلى السويّة المثارة خلال زمن dt يساوي:

$$dN = -NB\rho dt$$

خطوات عمل التجربة:

توضع حفنة الصوديوم التي كتلتها $1\ g$ على حامل في غرفة مظلمة تماماً ومعزولة، وعلى بعد $x = 3\ cm$ نضع جهاز الليزر وبجانبه تماماً حسّاس شدّة الضّوء.

نجعل جهاز الليزر يقوم بومضة مدّتها الزّمنيّة $t = 1\ ms$ باتجاه ذرّات الصّوديوم التي ستمتصّ جزءاً من الفوتونات، وبعد فترةٍ زمنيّةٍ δ صغيرة تعيد إصدار هذه الفوتونات.

"إنّ كلّ ذرّة صوديوم تمتصّ فوتوناً واحداً طاقته $\Delta E = 1.0591 \times 10^{-19}$"[١١]

فيكون لدينا بعد ذلك كلّه:

$$\frac{dN}{N} = -B\rho dt \implies B = -\frac{1}{\rho t}\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

$$\rho = \frac{\not{p}t}{\pi r^2 c} \qquad N_0 = \frac{m}{M}N_a \qquad N = \frac{E}{\Delta E} = \frac{4I\pi\delta x^2}{\Delta E}$$

حيث N_0 العدد الكلّي للذرّات المثارة والغير المثارة، c سرعة الضوء، N_a عدد أفوغادرو.

فتصبح العلاقة:

$$B = -\frac{\pi c r^2}{\not{p}t}\ln\left(\frac{4\pi MI\delta x^2}{\Delta E m N_a}\right)$$

[١١] Physics: Laser and Optical engineering ، صفحة (١٤٣)

الجداول والبيانات والنتائج:

رقم التجربة	١	٢	٣	٤	٥
$\delta\ (ms)$	3.241	3.107	3.199	3.218	3.281
$I\ \left(\frac{w}{m^2} \times 10^4\right)$	7.825	8.151	7.726	7.871	7.719
$I \times \delta$	253.61	253.25	247.15	253.29	253.26
$B\ \left(\frac{m^3}{js}\right)$	3.2392×10^9	3.2398×10^9	3.2510×10^9	3.2397×10^9	3.2398×10^9

الجدول(١)

حساب الأخطاء:

لنحسب أولاً الخطأ في قيمة δ. القيمة المتوسّطة:

$$\bar{\delta} = \frac{(3.241 + 3.107 + 3.199 + 3.218 + 3.281) \times 10^{-3}}{5} = 3.209 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta_1 = |3.241 - 3.209| = 0.032 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta_2 = |3.107 - 3.209| = 0.102 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta_3 = |3.199 - 3.209| = 0.01 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta_4 = |3.218 - 3.209| = 0.009 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta_5 = |3.281 - 3.209| = 0.072 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\delta = \frac{(0.032 + 0.102 + 0.010 + 0.009 + 0.072) \times 10^{-3}}{5} = 0.045 \times 10^{-3}$$

ومنه فإنّ:

$$\delta = \bar{\delta} \pm \Delta\delta = (3.209 \pm 0.045) \times 10^{-3}$$

أمّا الخطأ في حساب قيمة I فيكون كالتالي:

$$\bar{I} = \frac{7.719 + 7.871 + 7.726 + 8.151 + 7.825}{5} \times 10^4 = 7.858 \times 10^4$$

$$\Delta I_1 = |7.858 - 7.719| \times 10^4 = 1390$$

$$\Delta I_2 = |7.871 - 7.858| \times 10^4 = 130$$

$$\Delta I_3 = |7.726 - 7.858| \times 10^4 = 1320$$

$$\Delta I_4 = |8.151 - 7.858| \times 10^4 = 2930$$

$$\Delta I_5 = |7.825 - 7.858| \times 10^4 = 330$$

$$\Delta I = \frac{1390 + 130 + 1320 + 2930 + 330}{5} = 0.122 \times 10^4$$

ومنه فإنّ:

$$I = \bar{I} \pm \Delta I = (7.858 \pm 0.122) \times 10^4$$

وبالتالي يكون الخطأ النسبي في حساب $I \times \delta$:

$$\frac{\Delta(I \times \delta)}{\overline{(I \times \delta)}} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta\delta}{\delta} = (15.525 + 14.023) \times 10^{-3} = 29.548 \times 10^{-3}$$

$$\overline{(I \times \delta)} = \frac{253.26 + 253.29 + 247.15 + 253.25 + 253.61}{5} = 252.112$$

$$\Delta(I \times \delta) = 252.112 \times 29.548 \times 10^{-3} = 7.449$$

$$\Longrightarrow \quad (I \times \delta) = 252.112 \pm 7.449$$

ولحساب الخطأ النسبي في حساب B نقوم بما يلي (نفرض أنّ $I \times \delta = y$):

$$B = -\frac{\pi c r^2}{\not{p} t^2} \ln\left(\frac{4\pi M x^2 y}{\Delta E m N_a}\right) = -\frac{\pi c r^2}{\not{p} t^2}\left[\ln\left(\frac{4\pi M x^2}{\Delta E m N_a}\right) + \ln(y)\right]$$

$$\frac{4\pi M x^2}{\Delta E m N_a} = u = 4.0798 \times 10^{-6}$$

$$\ln(B) = \ln\left(-\frac{\pi c r^2}{\not{p} t^2}\right) + ln[\ln(u) + \ln(y)]$$

$$\frac{\Delta B}{\bar{B}} = 0 + \frac{\Delta y}{\bar{y}(\ln(u) + \ln(y))} = \frac{7.449}{252.112[\ln(4.0798 \times 10^{-6}) + \ln(252.112)]}$$

$$\Longrightarrow \left|\frac{\Delta B}{\bar{B}}\right| = 4.105 \times 10^{-3}$$

$$\bar{B} = \frac{3.2398 + 3.2397 + 3.251 + 3.2398 + 3.2392}{5} \times 10^9 = 3.242 \times 10^9$$

$$\Delta B = 3.242 \times 10^9 \times 4.105 \times 10^{-3} = 0.0133 \times 10^9$$

$$\Longrightarrow \quad B = \bar{B} \pm \Delta B = (3.242 \pm 0.0133) \times 10^9$$

الاستنتاجات:

لقد تمّ حساب القيمة العدديّة لمعامل الامتصاص B لمادّة الصوديوم بخطأ قدره 4%، حيث نتج لدينا:

$$B = (3.242 \pm 0.0133) \times 10^9$$

وذلك من خلال العلاقة:

$$B = -\frac{\pi c r^2}{\not{p} t} \ln\left(\frac{4\pi M I \delta x^2}{\Delta E m N_a}\right)$$

وهذه القيمة تخبرنا بأنّ الصّوديوم غير صالح لصنع ليزر حسب ما ورد في الفصل الأوّل.

الخاتمة والنّتائج:

من خلال ما مرّ في هذا البحث عرفنا طريقةً لاستخدام الليزر في تبريد مادّةٍ غازيّة، ولكن ما فائدة ذلك في الحاضر وفي المستقبل. في الحقيقة هناك كثير من الفوائد سواءً الاقتصاديّة أو العلميّة التي ستجنى جرّاء هذا البحث، فمثلاً: إذا أردنا دراسة حيوانٍ برّي فإنّنا نقوم بحصره في منطقة مغلقة صغيرة نسبيّاً لدراسة سلوكه وردود أفعاله تجاه متغيّراتٍ عديدة، وهذا ينطبق على الذرّات فإنّنا لو استطعنا أن نحصرها في منطقةٍ ضيّقة وبطأنا حركتها باستخدام الليزر فإنّ ذلك يفتح لنا أفقاً واسعا يتيح لنا دراسة الذرّات من جهة ودراسة الأجسام التحت ذريّة من جهة أخرى، وذلك بسهولةٍ وسلاسةٍ لم تعطنا إيّاه وسائل التبريد التقليديّة، وهذا سيحقّق لنا تطوّراً كبيراً في مجالاتٍ عديدةٍ كعلم البوليميرات وعلم النانو والهندسة الذريّة، وذلك سينعكس إيجاباً على الاقتصاد والعلم على حدٍّ سواء. ولكن هناك ما يعترض طريق هذا البحث، حيث أنّ الجهاز الذي قمنا بشرحه يحتاج إلى خبرةٍ صناعيّةٍ طويلة لصنعه ويحتاج أيدٍ عاملةٍ ماهرة وذلك لأنّه يتطلّب دقّة في الأبعاد تصل تقريباً إلى رتبة $10^{-9}\ m$ ، وقد يكون هذا سهلاً نوعاً ما في الدّول المتقدّمة ولكن بالنسبةِ للدول الأخرى فإنّ هذا مستحيلٌ حاليّا، لذلك ننصح بالقيام بجهد كافٍ لتطوير الصناعة إلى الحدِّ الذي يمكّننا من صناعة هذا الجهاز وطنيّاً، لأنّ ذلك سيجلب لنا فوائد كثيرةً ستغطّي ما بُذل من جهدٍ ومالٍ للوصول إليه وذلك في غضون وقتٍ قصير يقدّر ببضع سنواتٍ.

المصادر والمراجع:

مراجع عربيّة:

١. د. موسى، محمّد موسى، تكنلوجيا التبريد والتكييف: المكوّنات الأساسيّة لدائرة التبريد وتطبيقاتها، الجزء الأوّل، منشورات جامعة دمشق.

٢. علم المواد: مهنة التبريد والتكييف، الأوّل الثانوي الصناعي، وزارة التربيّة، عام٢٠٠٨-٢٠٠٩ ، المؤسسة العامّة للطباعة والكتب المدرسيّة.

مراجع أجنبيّة:

1. Raymond A.Serway and John W.Jewett, jr, Physics for scientist and engineers with modern physics, Ninth edition, Library of Congres.
2. Hugh D.Young, Roger A.Freedman and A.Lewis Ford, University physics with modern physics, 3th edition, Library of Congres.
3. Eugene Hecht, Optics, 4th edition, Adelphi university.
4. David J.Griffiths, Introduction to electrodynamics, 3th edition, Reed college, Prentice Hall.
5. Raymond A.serway, Physics Laser and Optical engineering.

منشورات متفرّقة:

١. سلّوم، د. عقيل، منشورات جامعة دمشق.

مواقع الكترونيّة:

http://Physics.nist.gov/phys RefData/ASD/Lines$_-$form.html(2009)

http://www.springer.com 1978-1-4614-5412-0

الفهرس

المقدّمة ٢

أهداف البحث ٢

القسم النّظري:

الفصل الأوّل ٣

نبذة تاريخيّة عن الليزر ٤

علاقة الليزر بالذرّة ٤

امتصاص الضّوء ٦

إصدار الضّوء ٦

الإصدار المحثوث ٧

آليّة عمل الليزر ٧

خواص حزمة الليزر ١٠

بعض أنواع الليزر ١٠

الفصل الثاني ١١

طرائق التبريد التقليديّة ١٢

مضار أنظمة التبريد التقليديّة ١٧

الفصل الثالث ١٨

مبدأ عمل التبريد بالليزر ١٩
القواعد الأولى للتبريد بالليزر ٢٠
امتصاص الفوتون ٢١
الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه $(-x)$ ٢٣
الإصدار التلقائي للفوتون في الاتجاه $(+x)$ ٢٤
متوسّط الإصدار بعد الامتصاص ٢٥
انتقال الطّاقة وكمّيّة الحركة ٢٦
الطّاقة وكمّيّة الحركة المنتقلة من أشعّة ليزر موجّهة بالاتجاه $(+x)$ ٢٦
أساسيّات المخمّد الضّوئي ٢٧
القوّة المطبّقة من قبل شعاع الليزر على عيّنة ذرّات ٢٨
حدّ السرعات المنخفضة ٢٩
التخميد الضّوئي ٣٠

القسم العملي:

الفصل الرابع ٣١
الهدف من التجربة ٣٢
الأدوات اللازمة ٣٢
المبدأ النظري للتجربة ٣٣

خطوات عمل التجربة ٣٤
الجداول والبيانات والنتائج ٣٥
حساب الأخطاء ٣٥
الاستنتاجات ٣٧
الخاتمة والنّتائج ٣٩
المصادر والمراجع ٤٠

فهرس الصور

رقم الشكل	رقم الصفحة	شرح توضيحي
١	١٠	آليّة عمل جهاز الليزر
٢	١٩	المخمّد الضوئي
٣	٢٠	اصطدام الفوتون بالذرّة
٤	٢٨	سقوط أشعّة الليزر على العيّنة
٥	٣٢	جهاز الليزر المستخدم في التجربة العمليّة
٦	٣٢	حسّاس شدّة الضّوء المستخدم في التجربة العمليّة
٧	٣٣	الصوديوم المستخدم في التجربة العمليّة

فهرس الجداول

رقم الجدول	رقم الصفحة	شرح توضيحي
١	٣٥	جدول البيانات في التجربة العمليّة