وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الرابعة عشر:

عنوان المحاضرة: طرق الضخ

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

(٢ ـ ٦) طرق الضخ

تسمى العملية التي يتم فيها ارتقاء الذرات من المستوى الارضي (E_0) الى المستوى (E_2) في خطة ذي ثلاثة مستويات ، او من المستوى الارضي (E_0) الى المستوى (E_3) في خطة ذي اربعة مستويات بعملية الضخ[127] . ان ميكانيكية الضخ وتفاصيلها تختلف باختلاف طرق الضخ وكذلك تعتمد على طبيعة المادة الفعالة وقد تكون معقدة ايضاً . فبالاضافة الى تقنية استخدام طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي ـ كما تدعى بالضخ البصري[128] ـ هناك تقنيات تعتمد على استخدام فرق جهد كهربائي لاحداث التفريغ الكهربائي مثلاً ، وقد يتم الضخ ايضاً عن طريق احداث تفاعل كيمياوي او تمدد فوق صوتي في الغاز . وقد تتضمن خطط الضخ لاكثر من ثلاثة او اربعة مستويات وايضاً تعاملاً معقداً بين هذه المستويات . فيما يلي سنلقي بعض الضوء على الطرق الثلاث الاولى .

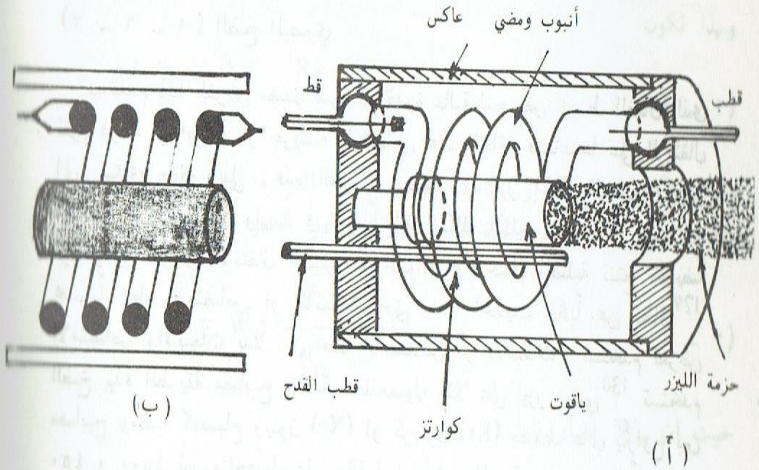
(٢ ـ ٦ ـ ١) الضخ البصري

يستخدم لهذا الغرض مصدر ضوء ذو قدرة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراته او ايوناته او جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة فتساعدها على الانتقال الى مستوى طاقة اعلى . هذه الطريقة معتمدة في ليزر الحالة الصلبة (كليزر الياقوت او النديميوم) وايضاً في ليزر الحالة السائلة (كليزر الصبغة) حيث ان ميكانيكية تعريض الانتقال الطيفي في السوائل والاجسام الصلبة تنتج تعريضاً محسوساً بخط الامتصاص او الانبعاث حتى يغدو الحديث غالباً عن نطاق[129] الامتصاص والانبعاث بدلاً من خط الامتصاص أو الانبعاث . تستخدم لغرض الضخ بهذه الطريقة مصابيح خاصة ، فللحصول مثلاً على ليزر نبضي[130] تستخدم مصابيح ومضية كمصباح زينون (Xe) او كربتون (Kr) بضغط عالي يتراوح بين ٤٥٠ و ١٥٠٠ تور وللحصول على حالة ليزر مستمر الموجة يستخدم غالباً مصباح الكربتون بضغط عالي يتراوح بين ٤٠٠٠ و ٨٠٠٠ تور او مصباح تنكستن ـ يود . في الحالة الاولى يبدأ التفريغ في المصباح بمساعدة قطب اضافي بواسطة نبضة جهد عالي تؤين الغاز مسببة بذلك ومضة أمد ضيائها (الذي يعتمد على سعة المتسعة ومقاومة المصباح) يتراوح بين بضع مايكروثانية الى بضع مئات مايكروثانية . تستخدم هذه المصابيح عادة لضخ ليزر الحالة الصلبة حيث تكون المادة الفعالة على شكل قضيب اسطواني ، قطره يتراوح بين بضع مليمترات الى بضع سنتمترات اما طوله فيتراوح بين سنتمترات الى بضع اعشار المتر .

يوضح شكل (٢ ـ ٧أ) كيفية التفاف المصباح الومضي حول الوسط الفعال حيث تصنع عادة بشكل حلزوني يسقط الضوء منه بصورة مباشرة على المادة الفعالة او بعد ارتداده عن سطح عاكس ، لاحظ شكل (٢ ـ ٧ب) ، استخدم هذا التصميم في ليزر الياقوت ولازال مستخدماً . كما استحدثت تصاميم اخرى للمصباح الومضي لتخدم ابعاده وترتيبه بالنسبة للوسط الفعال زيادة كفاءة الضخ وانتظام عملية تسليط الاشعاع على الوسط الفعال .

سنعرض فيما يلي وعلى سبيل الايضاح كفاءة الضخ باستخدام مصباح ومضي .

كفاءة الضخ : تعتمد كفاءة الضخ باستخدام المصباح الومضي على عوامل اربعة : اولاً كفاءة نقل الطاقة المتوفرة في المصباح الى المادة الفعالة ويمثل بالكمية



شكل (٢ ـ ٧) : أ) استخدام مصباح ومضي لضخ قضيب الليزر (ليزر الياقوت)
ب) مقطع جانبي لتوضيح النظام البصري المستخدم

(η_t)[131] وثانياً الكفاءة الاشعاعية[132] للمصباح ويرمز لها بالرمز (η_r) وهي كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية التي تجهز للمصباح الى ضياء خارج في مدى طول موجي يتراوح بين λ_1 و λ_2 والذي يجب أن يقع ضمن هذا المدى الحزمة اللازمة لضخ وسط الليزر (مثلاً توفير مدى بين ٠,٣ و ٠,٩ مايكرومتر لليزر نديميوم : ياك) وتعتمد هذه الكفاءة على ابعاد المصباح .

اما العامل الثالث فيتعلق بكفاءة الامتصاص[133] (η_a) والتي تعطي الجزء الذي امتصه فعلياً وسط الليزر من الاشعاع النافع .

اما العامل الرابع فيكمن في الكفاءة الكمية للضخ[134] (η_q) ، وتأخذ بنظر الاعتبار حقيقة كون الذرات التي تصعد عن طريق الضخ لا تهبط جميعها الى المستوى المطلوب تأهيله المستوى الاعلى لانتقال الليزر . فبعض من هذه الذرات تهبط مباشرة الى المستوى الارضي أو قد تهبط الى مستويات اخرى لا علاقة لها بمخطط الضخ . يعبر عن هذه الكفاءة بالنسبة بين عدد الذرات التي رفعت بواسطة نطاق حزمة الاشعاع المستخدم للضخ . اما كفاءة الضخ η_p فيعبر عنها بحاصل ضرب المقادير الاربعة أي أن :

$$\eta_p = \eta_t \cdot \eta_r \cdot \eta_a \cdot \eta_q \qquad (٢ - ٣١)$$

لالقاء ضوء على مقادير هذه الكميات نرجع الى جدول (٢ ـ ١) حيث ادرج فيه قيماً تقديرية تقريبية مأخوذة من التجريب ولحالتين اولاهاقضيب ليزر من الياقوت بقطر يساوي ٦,٣ مليمتر ضخ بمصباح زينون ومضي على شكل انبوب حلزوني وثانيها قضيب ليزر نديميوم : ياك بقطر يساوي ايضاً 6.3 مليمتر ضخ بمصباح كربتون .

جدول (٢ ـ ١) : مقادير عوامل الكفاءة للضخ البصري (%)

النوع	η_t	η_r	η_a	η_q	η_p
ليزر ياقوت	٣٠ ـ ٤٠	٢٥	٣٠ ـ ٦٠	٥٠	١,١ ـ ٣
ليزر نديميوم : ياك	٨٠	٥٠	١٦	٤٠	٢,٦

إن تحسين كفاءة الضخ تكمن في تحسين الكفاءة الاشعاعية للمصباح وهذا واقع في تحسين تقنية تصنيع المصباح فما نحتاجه هو مصباح له طيف انبعاث يوافق طيف الامتصاص للوسط الفعال . من جهة اخرى لا نستطيع ان نعمل كثيراً في تحسين الكفاءة الكمية أو كفاءة الامتصاص مادامت هذه تعتمد على خواص الوسط ذاته في حين يمكن العمل في تحسين كفاءة النقل فهي تعتمد كثيراً على تصميم الجهاز البصري المسؤول عن حفاظ ضوء الضخ المتوفر لقضيب الليزر ، لذا فالحسابات بهذا الشأن مهمة جداً لغرض تحقيق شروط نقل أفضل للطاقة وبشكل منتظم . فمثلاً يكون للشكل اللولبي للمصباح امتياز من ناحية زيادة طول المصباح وبالتالي فانه يعطي انتظاماً أكثر في ضخ الضوء الى قضيب الليزر إلا ان كفاءته اقل من مصباح طولي يرافقه سطح عاكس على شكل قطع ناقص (اهليلجي) كذلك يكون لابعاد المصباح ـ طوله ونصف قطره وكيفية ترتيبه نسبة الى قضيب الليزر اهمية في تحديد كفاءة نقل الطاقة وكذلك في انتظام عملية تشعيع مادة الليزر قد يتم الضخ البصري باستخدام اشعة الليزر ذاتها فبعد نمو استخدام الليزر وانتاجه بشكل تجاري اصبح من السهل اجراء عملية الضخ البصري بصورة انتقائية[135] ،

اي ان الضخ يتم الى المستوى المطلوب فقط ويتم ذلك باستخدام ليزر بطول موجي معين لضخ مادة فعالة والحصول على ليزر بطول موجة أو بمدى لطول الموجة يختلف عن الليزر المستخدم في عملية الضخ بهذه الطريقة يمكن توسيع نطاق الاطوال الموجية لليزر وتوفيرها .

(٢ ـ ٦ ـ ٢) الضخ الكهربائي

تستخدم هذه الطريقة في ليزر الغاز وليزر شبه الموصل ولكن عملية الاثارة تختلف من حيث الاساس في الغاز عنه في شبه الموصل . فهي تتم في الغاز عن طريق التفريغ الكهربائي في حين تتم في شبه الموصل باستخدام فرق جهد كهربائي يعمل مجاله على حقن الناقلات المشحونة (او حاملات التيار)[136] الى منطقة الملتقى له .

الاثارة في ليزر الغاز : يحتاج وسط الغاز الى فرق جهد كهربائي مناسب لاحداث عملية التفريغ الكهربائي فيه وعليه تتم عملية الضخ نتيجة مرور تيار كهربائي مناسب من خلاله وبهذا تتكون الايونات والالكترونات السريعة وتكتسب هذه الجسيمات طاقة اضافية نتيجة تعجيلها من قبل المجال الكهربائي فتصطدم مع ذرات الغاز او جزيئاته مسببة تحريضها ويُعد التصادم بين الالكترونات السريعة وذرات او جزيئات الغاز هو المصدر الرئيسي للاثارة داخل انبوب التفريغ حيث تكون حركة الايونات عادة اقل اهمية من حركة الالكترونات (بسبب الاختلاف الكبير في الكتلة) . ولغاز تحت ضغط واطيء ، يكون معدل طاقة الالكترون أكثر بكثير من تلك للايون فبعد فترة قصيرة تحل حالة التوازن في عموم الالكترونات فيمكن أن توصف هذه الحالة بما يسمى بدرجة حرارة الالكترون المكافئة[137] (T_e) .

في الحقيقة ، يتم الضخ الكهربائي في الغاز من خلال احدى العمليات التالية :

أ) لغاز يتألف من نوع واحد من المكونات ، تتم عملية الاثارة عن طريق الالكترونات ووفق معادلة التصادم التالية :

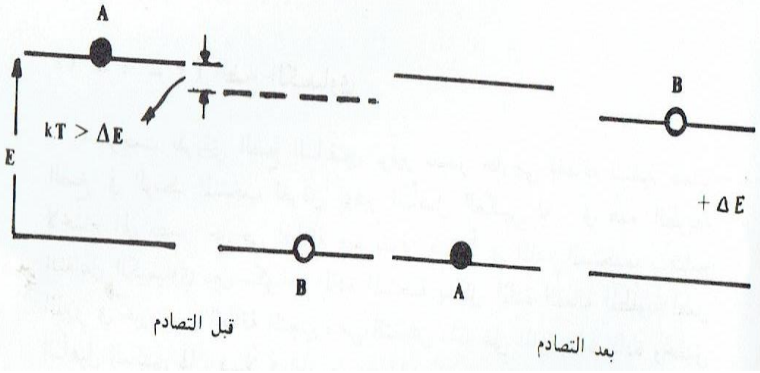
$$e + X = X^* + e \qquad (٢ - ٢٢)$$

تمثل X وX^* الذرة (او الجزيئة) في الحالة الارضية وفي الحالة المحرضة على التوالي . يدعى هذا النوع من التصادم بتصادم من النوع الاول[139] ، قد يكون ايضاً نتيجة هذا التصادم تأين الذرة او الجزيئة وقد يكون التصادم ذاته مرناً أيضاً كما ان هذه العمليات الثلاث ممكن أن تتحدث في انبوب التفريغ وقد تؤثر على بعضها بشكل معقد أيضاً .

ب) لغاز يتألف من نوعين من المكونات مثلاً A , B فقد تتم عملية التحريض نتيجة التصادم بين الجسيمات المختلفة خلال عملية تدعى « انتقال الطاقة الرنيني »[139] فاذا فرضنا بان الجسيم (A) في الحالة المحرضة وان الجسيم (B) في الحالة الارضية ، راجع الشكل (٢ ـ ٨) ، كذلك سنفرض بان فرق الطاقة ΔE بين انتقاليها هو اقل من kT . في هذه الحالة يكون هناك احتالية ملحوظة بأن نجد الجسيم (A) بعد التصادم في الحالة الارضية . والجسيم (B) في الحالة المحرضة ويمكن التعبير عن مجمل عملية التصادم ، والمبينة في الشكل ، بالمعادلة التالية :

$$A^* + B \longrightarrow A + B^* + E \qquad (٢ - ٢٣)$$

يدل المقدار (ΔE) على ان الطاقة الممنوحة من قبل (A) قد لاتساوي بالضبط تلك الممتصة من قبل (B) ويظهر هذا الفرق موجباً او سالباً في الطاقة الحركية الانتقالية ، الحالة التي يكون عندها المقدار ΔE يساوي صفر تمثل حالة الرنين التام .



تمثل هذه العملية طريقة ضخ الجسيم (B) خاصة عندما تكون الحالة المحرضة للجسيم (A) شبه مستقرة (ذات متوسط زمن عمر طويل) فاذا ماحرض الجسيم A مثلاً بتصادم من النوع الاول (بالالكترونات مثلاً) فانه سيبقى في الحالة المحرضة وسيكون جاهزاً لتحريض الجسيم B حتى ما اصطدم به. يدعى التصادم المتمثل بالمعادلة (٢ ـ ٢٤) « بتصادم من النوع الثاني.[140] يعد ليزر هليوم ـ نيون من الامثلة الرئيسية لنجاح طريقة الاثارة بالانتقال الرنيني للطاقة.

عموماً، يمكن التعبير عن فعالية التصادم في انجاز تغير فيزيائي بالاستعانة بعامل يدعى بمقطع التصادم ويقدر بوحدة المساحة كما يعتمد معدل الضخ على كثافة التيار الكهربائي في انبوب التفريغ.

الاثارة في شبه الموصل: لما كانت المسائل المتعلقة بشبه الموصل ذات العلاقة بالفيزياء الحديثة تختلف في معالجتها عن المسائل ذاتها للمواد النقية (الصلبة، السائلة والغازية) ونقصد بهذا، مثلاً معالجة المسائل المتعلقة بمستويات الطاقة كالاثارة والانتقال الطيفي لذا سنتناول موضوع شبه الموصل بصورة تمهيدية موجزة ومجملة في الفصل السادس. عندما نبحث موضوع ليزر شبه الموصلات ونكتفي هنا بالاشارة بايجاز الى دور الجهد الكهربائي في عملية الاثارة. إن طريقة استخدام الجهد الكهربائي كاحد طرق الضخ في ليزر شبه الموصل يكون مشابهاً تماماً للتقنية التي عرفها القاريء في صمام شبه الموصل الثنائي[141] (صمام السلكون مثلاً) عند دراسته النظرية او العملية لموضوع الالكترونيات.

(٢ ـ ٦ ـ ٣) الضخ الكيمياوي

استوجبت طريقتي الضخ السابقتين توفير مصدر خارجي للطاقة لتنفيذ عملية الضخ في الوسط المنتخب لغرض توفير التأهيل العكسي له. في هذه الطريقة لانحتاج الى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوفر ضمنياً في المادة المستخدمة. فناتج التفاعل الكيمياوي بين مكونات المادة المنتخبة يشكل المادة الفعالة المطلوبة لعمل الليزر في حين تعمل الطاقة المتحررة من التفاعل ذاته على اثارة هذه المادة وتحقيق التأهيل العكسي لها. فمثلاً في ليزر فلوريد الهيدروجين، تكون المكونات المستخدمة غاز الفلور وغاز الهيدروجين وجزيئة فلوريد الهيدروجين المحرضة تنتج عن التفاعل المبين بالمعادلة التالية :

$$F + H_2 = HF^* + H$$
$$H + F_2 = HF^* + F \qquad (٢ ـ ٢٤)$$

فالجزيئة المتهيجة HF^* تشكل المادة الفعالة في الليزر الكيمياوي اعلاه ولها القابلية على انتاج الانبعاث المحفز.

المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.