كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الليزر

المحاضرة : الثامنة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الدراسة الفيزيائية الكاملة لـ Q-switching في الليزر

أولاً: ما هو Q-switching ؟

أو ما يسمى التحويل النوعي هو تقنية Q-switching تُستخدم في الليزرات من أجل إنتاج نبضات قصيرة جداً وعالية الطاقة من شعاع الليزر. الهدف من هذه التقنية هو تخزين أكبر قدر ممكن من الطاقة داخل الوسط الفعال ثم إطلاقها دفعة واحدة على شكل نبضة قصيرة جداً.

كلمة "Q" تشير إلى معامل الجودة (Quality Factor) الخاص بالتجويف البصري الليزري، وهو مقياس لمدى احتفاظ التجويف بالطاقة دون فقد.

ثانياً: المبدأ الفيزيائي لـ Q-switching

يعمل Q-switching على تأخير انبعاث الليزر بعد حدوث الانقلاب السكاني (الانعكاس السكاني) في الوسط الفعال، وذلك من خلال تقليل جودة التجويف في البداية ثم زيادتها فجأة.

1- في البداية يكون التجويف البصري في حالة خسارة كبيرة للطاقة (Q منخفض جداً).

2- يتم ضخ الطاقة إلى الوسط الفعال، وتتراكم الذرات أو الأيونات في الحالة المثارة.

3- عند الوصول إلى الحد المطلوب من الانعكاس السكاني، يتم فجأة رفع Q إلى قيمة عالية.

4- يؤدي ذلك إلى بدء الانبعاث المحفز بقوة، مما ينتج نبضة عالية الطاقة خلال فترة زمنية قصيرة جداً.

ثالثاً: معامل الجودة (Q-factor)

معامل الجودة Q يعبر عن مدى كفاءة التجويف البصري في حفظ الطاقة

داخله. ويعرف بأنه النسبة بين الطاقة المختزنة إلى الطاقة المفقودة في كل دورة.

كلما كان Q اكبر، كانت الخسائر أقل، وبالتالي يكون الليزر أكثر كفاءة في تضخيم الضوء.

رابعاً: أنواع Q-switching

1) Q-switching النشط (active Q-switching):

في هذا النوع يتم التحكم في Q باستخدام أدوات خارجية مثل:

أ- خلايا Pockels أو خلايا Kerr، والتي تغير استقطاب الضوء عندما يتم تطبيق جهد كهربائي.

ب- المرايا الدوارة.

ج- الأجهزة الصوتية البصرية (AOM).

يتم تشغيل هذه الأدوات في الوقت المناسب لإطلاق النبضة عند القيمة المثالية من الطاقة المختزنة.

2) Q-switching السلبي (Passive Q-switching):

يتم استخدام مادة ممتصة للضوء (مادة مشبعة بالامتصاص) توضع داخل التجويف:

أ- هذه المادة تمتص الضوء في البداية.

ب- عندما تصبح مشبعة (أي لم تعد تمتص المزيد)، تسمح بمرور الضوء فجأة.

ج- فتطلق نبضة ليزر قوية جداً.

من المواد المستخدمة في هذا النوع: Cr:YAG، SESAM، وغيرها.

خامساً: العلاقات الفيزيائية الأساسية في Q-switching

1- الطاقة المختزنة في الوسط الفعال: تعتمد على عدد الذرات المثارة وحجم الوسط وتردد (تواتر) الفوتونات. وكلما زاد الضخ،

زادت الطاقة المخزنة.

2- مدة النبضة الناتجة: تتناسب عكسياً مع بعائية التغير في خسائر التجويف. كلما كان التحول من Q المنخفض إلى Q العالي أسرع، كانت النبضة أقصر.

3- طاقة النبضة: تتناسب طردياً مع القدرة العظمى وزمن النبضة. كلما زادت القدرة المختزنة وزاد تركيزها في نبضة واحدة، زادت طاقتها.

4- معدّل تكرار النبضات (في Q-switching النشط فقط): يمكن التحكم به حسب سرعة دائرة التحكم الإلكترونية.

سادساً: مزايا Q-switching

أ- الحصول على نبضات ليزر طاقتها عالية جداً.

ب- مدة النبضة قصيرة جداً (نانوثانية أو أقل).

ج- مناسبة جداً لتطبيقات تحتاج إلى قدرة لحظية عالية.

سابعاً: التطبيقات العملية لتقنية Q-switching

1- نقش المعادن والبلاستيك بالليزر.

2- إزالة الأوشام والتصبغات الجلدية.

3- عمليات الجراحة الدقيقة بالليزر.

4- قياسات المسافات عبر الليزر (LIDAR).

5- إنتاج البلازما أو الشرارات البصرية.

6- أبحاث التفاعل بين الليزر والمواد.

ثامناً: أهم أنواع الليزرات التي تستخدم (Q-switching)

1- ليزر Nd:YAG: أكثر نوع استخداماً مع Q-switching.

2- ليزر Nd:YVO4: مشابه لليزر Nd:YAG مع خصائص مختلفة.

3- ليزرات الألياف (Fiber lasers).

4- ليزرات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في بعض التطبيقات.

مسألة (1): يُستخدم ليزر Nd:YAG يعمل بطريقة Q-switching النشيط لإنتاج نبضات عالية الطاقة، طول موجته $\lambda = 1064\,nm$، زمن استمرار النبضة الناتجة $t = 10\,ns$، الطاقة الكلية للنبضة الواحدة $E = 200\,mJ$ ومعدّل تكرار النبضات 10 نبضات في الثانية.
والمطلوب حساب:

1 - القدرة (الاستطاعة) اللحظية العظمى P_{peak} للنبضة

2- عدد الفوتونات في كل نبضة N.

3- عدد الفوتونات N_s في الثانية الخارجة من الليزر

1) $P_{peak} = \frac{E}{t} = \frac{200\,mJ}{10\,ns} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\,J}{10 \cdot 10^{-9}\,s} = 2 \cdot 10^{7}\,W$

2) $N = \frac{E}{E_{photon}}$ ، $E_{photon} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}\,J.s \cdot 3 \cdot 10^{8}\,m.s^{-1}}{1064 \cdot 10^{-9}\,m}$

$\Rightarrow E_{photon} = 1{,}87 \cdot 10^{-19}\,J \Rightarrow$

$$N = \frac{200 \cdot 10^{-3}\,J}{1{,}87 \cdot 10^{-19}\,J} = 1{,}07 \cdot 10^{18}\ photon$$

3) عدد الفوتونات N_s = عدد النبضات في الثانية × عدد الفوتونات في النبضة

$\Rightarrow N_s = 10\,s^{-1} \cdot 1{,}07 \cdot 10^{18}\ photon$

$= 1{,}07 \cdot 10^{19}\ photon/s$

$= 1{,}07 \cdot 10^{19}\ photon \cdot s^{-1}$

أ.د. أنور الدوري

مكتبة A to Z