كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

أسئلة دورات محلولة

فيزياء الليزر

A 2 Z LIBRARY

Facebook Group : A to Z مكتبة

كلية العلوم (فيزياء ، كيمياء ، رياضيات ،علم الحياة)

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

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي ٢٠٢٤-٢٠٢٥

==========

السؤال الأول (٢٥ درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية، ثم استخرج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي، ثم ارسم بيانيا" تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي، مع العلم أن كثافة الفوتونات تعطى بالعلاقة: $p = \tau_{ph} \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th})$.

ب- عرّف ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) التي تلاحظ في ليزرات الجسم الصلب.

السؤال الثاني (١٥ درجة)

علّل ما يلي:

أ- عدم إمكانية الحصول على انتقال ليزري من منظومة ذرية ثنائية السويات في حالة التوازن.
ب- أكثر الخسارات التي تتعرض لها أشعة ليزرات الإكسيمر تنتج عن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية.
ت- تصميم أطراف أنبوب الليزر الغازي على شكل زاوية تعادل زاوية بروستر.
ث- سبب الصعوبات التقنية الكبيرة عند تصنيع الليزرات التي تعمل في مجال الأمواج القصيرة.
ج- تكون الخصائص الفيزيائية للأشعة التي تصدر من الليزرات التي تستخدم بلورة الياغ أفضل من الليزرات التي تستخدم بلورات زجاجية.

السؤال الثالث (١٠ درجات)

أ- استنتج العلاقة بين طول ترابط أشعة الليزر ℓ وتعرّض الخط الطيفي الليزري $\Delta\upsilon$.
ب- علّل تناقص طول ترابط الأشعة الصادرة عن الذرات المثارة والمتحركة بسرعات واتجاهات مختلفة.

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

أ- ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات.
ب- اشرح مبدأ عمل ليزرات الأبخرة المعدنية.

==========

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

Ato Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي ٢٠٢٤-٢٠٢٥

ج ١ : (٢٥درجة)

أ)- يمكن وصف الطاقة E المختزنة ضمن المرنان بالعلاقة: $E = p \cdot V \cdot \Delta E_{21} = p \cdot V \cdot h\upsilon_{21}$

وطاقة الخرج الليزرية هي الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان أي: $P_A = \frac{E \cdot T}{\tau_R}$

حيث: T هي عبارة عن نفوذية مرآة المرنان و τ_R الزمن الذي تستغرقه الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن المرنان.

وبتعويض E بقيمتها فنجد أن : $P_A = \frac{p \cdot V \cdot \Delta E_{21} \cdot T}{\tau_R}$

واذا عوضنا عن p بقيمتها نجد أن : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot T \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{\tau_{ph}}{\tau_R}$

والمقدار $(\frac{\tau_{ph}}{\tau_R})$ يمثل قيمة التخامد في الفوتونات خلال دورة واحدة ويعطى بالعلاقة: $\frac{\tau_{ph}}{\tau_R} = \frac{1}{T+L}$

حيث L تمثل مجموع الخسارات وبالتعويض في p_A نحصل : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{T}{T+L}$

ولتحقيق نسبة الضخ W_p يجب اعطاء طاقة للوسط الليزري الفعّال والتي تتناسب مع عدد الالكترونات في الحجم الكلّي للوسط الليزري الفعّال وبفرق الطاقة ΔE_{30} ومع احتمال الانتقال W_{03} ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot W_{03}$$

وانطلاقاً من تعريف مردود عملية الضخ الضوئي نجد أن : $\eta = \frac{W_p}{W_{03}} \Rightarrow W_{03} = \frac{W_p}{\eta}$

بالتعويض: $P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_p}{\eta}$

وبطريقة مشابهة نستنتج طاقة الضخ عند العتبة P_{th} حيث : $P_{th} = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_{th}}{\eta}$

ومن العلاقات السابقة يمكن حساب نسبة الضخ : $W_p = \frac{\eta \cdot P_p}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

و نسبة الضخ عند قيمة العتبة : $W_{th} = \frac{\eta \cdot P_{th}}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

نعوض قيم W_p و W_{th} في علاقة P_A فنجد أن : $P_A = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L} \cdot (P_p - P_{th})$

ومن أجل قيم لطاقة الضخ P_p أكبر P_{th} تكون العلاقة بين طاقة الخرج P_A وطاقة الضخ P_p خطية متزايدة

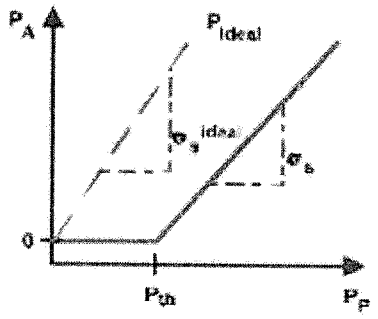
وميل المستقيم الناتج يدعى درجة التأثير التفاضلية وتعطى بالعلاقة : $\sigma_s = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L}$

وفي الحالة الخاصة التي تمثل الليزر المثالي يكون مجموع الخسارات الناتجة عن المرنان معدومة أي أن (L = 0)

تكون درجة التأثير التفاضلية في هذه الحالة : $\sigma_s^{ideal} = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}}$

A to Z

و الخط البياني الذي يمثل تابعية طاقة الخرج P_A لطاقة الضخ P_p .



ب)- ظاهرة التوالد النتوئي هي حالة الانزياحات الكبيرة عن وضع التوازن حيث ينتج اهتزازات لاتوافقية غير متخامدة لطاقة الخرج الليزرية على شكل قمم كبيرة أو تظهر على شكل قمم متعاقبة.

ج ٢ (١٥ درجة)

أ- لأنه دائماً لدينا ازدياد في الإصدار التلقائي على حساب الإصدار القسري، وكذلك فان عملية الضخ الضوئي لا تؤدي إلى تحقيق انعكاس في إسكان سويات الطاقة لأن أشعة الضخ سوف تؤدي إلى امتصاص واصدار قسري بشكل متساو أي أن: $B_{21} = B_{12}$.

ب- لأنها تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي الى تفكك جزيئات الأكسيمر.

ت- لتجنّب الخسارة الناتجة عن عملية الانعكاس على سطوح النوافذ.

ث- لأن احتمال الانتقال للإصدار القسري يتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد $(B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3})$. أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة.

ج- بسبب التجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ.

ج ٣ : (١٠ درجات)

نعبّر عن التوزّع الطيفي بدلالة التردد υ بدلاً من طول الموجة λ فاننا نحصل على العلاقة التالية بينهما:

$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_0} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow \Delta\upsilon \approx \upsilon_0 \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \qquad (*)$$

اذا كانت δ_1 و δ_2 تملك قيماً متساوية فاننا نحصل على شدة عظمى من أجل λ_0 عندما يكون: $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_0} = n$

بينما من أجل طول الموجة λ_1 تكون شدة التداخل صغرى وهذا يتحقق عندما يكون: $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_1} = \frac{2n+1}{2}$

إن التمايز في شدات التداخل بين عظمى وصغرى من أجل λ_0 و λ_1 يتوافق تماماً مع تعريف طول الترابط ℓ

وبالتالي انطلاقاً من العلاقتين السابقتين نحصل على :

$$\ell = r_2 - r_1 = \frac{1}{2\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}\right)} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_0}{2(\lambda_0 - \lambda_1)}$$

واذا أخذنا التقريب التالي بعين الإعتبار:

$$\lambda_0 - \lambda_1 = \frac{\Delta\lambda}{2}$$

وعندما تكون $\Delta\lambda$ صغيرة جداً يمكن أن نعتبر $\lambda_0 \approx \lambda_1$ وبالتالي تصبح علاقة ℓ بالشكل:

$$\ell \approx \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

$$\tau = \frac{\ell}{c} = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

وبمقارنة هذه العلاقة مع العلاقة (*) نحصل على:

$$\tau = \frac{1}{\Delta\upsilon}$$

وبالتالي نستنتج أن:

$$\ell = \frac{c}{\Delta\upsilon}$$

أي أن طول الترابط لأشعة صادرة عن منبع ضوئي يزداد كلما تناقص التعرّض الطيفي $\Delta\upsilon$ لهذه الأشعة.

٢)– بسبب مفعول دوبلر الذي يؤدي الى زيادة تعرض الخطوط الطيفية للذرات المتحركة.

ج ٤ : (٢٠ درجة)

أ– تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانساً لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات الأخرى مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.
- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100 nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

ب–ليزرات الأبخرة المعدنية :

تصدر ليزرات الأبخرة المعدنية الممزوجة مع بعض الغازات أشعة ليزرية ذات أطوال موجية متعددة وتقع ضمن المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي . كما أن هناك عدداً من هذه الليزرات يعمل بشكل نبضي وباستطاعة عالية، بينما ليزرات الأبخرة المعدنية التي تعمل بشكل مستمر تتشابه مع ليزر الهليوم–نيون من جهة خصائص الاستطاعة.

تُستخدم ليزرات الأبخرة المعدنية في معالجة المواد ، الهولوغرافيا أو كمنبع ضوئي لإثارة الفلورة في الدراسات الطيفية وفي عملية الضخ الضوئي لليزرات الصباغية .إن الانتقالات الليزرية تحدث في هذا النوع من الليزرات بين السويات الإلكترونية في الذرات المعتدلة أو شوارد الأبخرة المعدنية.

تتم عملية إثارة ذرات الأبخرة المعدنية بطريقة الانفراغ الغازي إمّا بشكل إثارة مستمرة أو على شكل نبضات وذلك بعد إضافة غاز الهليوم الذي تشارك ذراته في عملية التصادمات لتحقيق عملية الانفراغ كما يلعب غاز الهليوم دوراً أساسياً في المحافظة على استمرارية الانفراغ الغازي . كما يجب أن يكون ضغط غاز الهليوم عالياً بشكل كاف ويجب أيضاً تسخين أنبوب الإنفراغ لتجنّب عملية تكاثف الأبخرة المعدنية على نوافذ بروستر.

ويمكن الحصول على الأبخرة المعدنية بالاعتماد على طريقتين :

- تبخير المعادن النقية وذلك بتسخينها حتى درجات حرارة عالية جداً.
- تفكك الروابط المعدنية التي تربط ذرات المعادن بغيرها من الذرات .

ويتم تحقيق حالة الانعكاس في إسكان سويات الطاقة لهذا النوع من الليزرات إمّا بطريقة التصادمات الإلكترونية المباشرة كما هو الحال في الذرات المعدنية المعتدلة، أو من خلال التصادمات من النوع الثاني غير المباشرة حيث تصطدم ذرات الأبخرة المعدنية مع ذرات غاز الهليوم المثارة مما يؤدي إلى تشرّد ذرات المعدن وإثارتها.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الدورة التكميلية للعام الدراسي 2023-2024

ج 1 : (25درجة)

أ)- لدراسة شرط العتبة نستخدم مفهوم كثافة الفوتونات: $n = \rho_{(\upsilon)} \cdot \frac{d\upsilon}{h\upsilon}$ (1)

والتغير في كثافة الفوتونات ضمن الليزر بالنسبة للزمن تتعلّق بالعوامل التالية :

-الاصدار العفوي : $\frac{dN'}{dt} = A_{21} \cdot N_2$ (2)

-الاصدار القسري: $\frac{dN''}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (3)

-الامتصاص: $\frac{dN'''}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (4)

-الخسارات التي تحدث ضمن المرنان : $\frac{dN^*}{dt} = -\frac{n}{t_0}$ (5)

وبالتالي فان التغيّر الكلّي في كثافة الفوتونات هو مجموع التغيّرات الناتجة عن العمليات السابقة أي أن

$$\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_0} + A_{21} \cdot N_2 \quad (6)$$

ويمكننا اهمال الحد الناتج عن عملية الاصدار العفوي لأنه يساهم بتغيّر صغير في كثافة الفوتونات مقارنة بالتغيّرات الناتجة عن العمليات الأخرى: $\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_{0\,2}}$ (7)

وبتعويض قيمة $\rho_{(\upsilon)}$ من العلاقة (1) وبعد الأخذ بعين الاعتبار أنّ : $B_{21} = B_{12} = B$ وبالاصلاح نجد أن:

$$\frac{dn}{dt} = \left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n \quad (8)$$

و يحدث التضخيم عندما $\left(\frac{dn}{dt} > 0\right)$ أي أن : $\left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n > 0$ (9)

$$\Rightarrow N_2 - N_1 > \frac{d\upsilon}{B \cdot h\upsilon \cdot t_0} \quad (10)$$

وكنا قد وجدنا سابقاً أن : $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3} \Rightarrow \frac{1}{B} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3 \cdot A}$

بالتعويض في العلاقة (10)نحصل على شرط عتبة الليزر: $N_2 - N_1 > \frac{8\pi \cdot \upsilon^2}{c^3 \cdot A \cdot t_0} \cdot d\upsilon$

ب)- تزداد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد لأنه عندما يكون التردد υ كبيراً سوف يؤدي الى قيم كبيرة لحالة الانعكاس في اسكان سويات الطاقة ($N_2 - N_1$) لأنها تتناسب طرداً مع υ^2 لذلك يجب أن يكون مقدار التعرّض في الخطوط الليزرية $d\upsilon$ أصغر مايمكن حتى تتحقق عملية الليزرة والسبب في ذلك يتعلق بالازدياد الكبير في عملية الاصدار العفوي مقارنة بالاصدار القسري لأن: ($A \sim B \cdot \upsilon^2$).

ت)- تعتمد هذه الطريقة في إثارة سويات الطاقة للذرات أو الجزيئات بوساطة عمليات تبادل للطاقة غير مشعة. وتحدث هذه العمليات عندما تكون المواد في حالتها الغازية وذلك نتيجة التصادمات بين ذرات الغاز، ويمكن التمييز بين نوعين من التصادمات : تصادمات مرنة و تصادمات لامرنة .

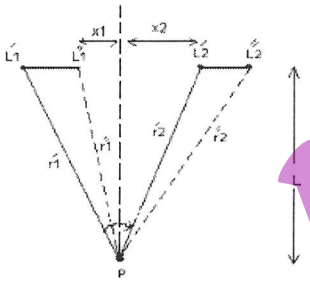
ويمكن الاستفادة من التصادمات المرنة حيث تصطدم الإلكترونات المسرّعة أو الشوارد الكهربائية مع الذرات أو الجزيئات الغازية ويترافق ذلك بانتقال الطاقة الحركية لهذه الإلكترونات إلى طاقة داخلية في الذرات والجزيئات وتؤدي إلى نقلها إلى سويات مثارة . وتترافق التصادمات اللامرنة بعملية انتقال طاقة بين الجسيمات المتصادمة مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية لأن جزءاً من طاقة الإثارة يتحول إلى طاقة حركية .

5

و تتم عملية التصادمات إمّا بطريقة الانفراغ الذاتي حيث تتولّد الشحنات الكهربائية ذاتياً خلال عملية الانفراغ أو بطريقة الانفراغ غير الذاتي حيث تتولّد الشحنات تحت تأثيرات خارجية مثل القذف بالإلكترونات المسرَّعة .

كما يمكن أن تكون التصادمات بين ذرات من نفس النوع وبالتالي فإن إثارة هذه الذرات يكون عبر تصادمها مع الإلكترونات المسرّعة . أو تصادمات بين نوعين مختلفين من الذرات بحيث تكون إحداهما في الحالة المثارة بينما الأخرى في الحالة الأساسية وبعد التصادم يحدث انتقال للطاقة بينهما فتصبح الذرة المثارة في حالتها الأساسية والذرة الأخرى تصبح في حالتها المثارة.

ج 2 (13 درجة)



أ)-

لتحديد الشدة الكلية الناتجة عن التداخل يجب حساب فرق المسار بين هاتين النقطتين $r''_2 - r''_1$.

ومن الشكل نستنتج أن

$$r_2'' - r_1'' = \sqrt{x_2^2 + \ell^2} - \sqrt{x_1^2 + \ell^2} = \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_2^2}{\ell^2}} - \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_1^2}{\ell^2}}$$

وفي الحالة التي يكون فيها ($\ell >> x_1 , x_2$) تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

$$r_2'' - r_1'' \approx \ell\left(1 + \frac{x_2^2}{2\ell^2}\right) - \ell\left(1 + \frac{x_1^2}{2\ell^2}\right) \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2\ell} \approx \frac{(x_2 - x_1)(x_2 + x_1)}{2\ell}$$

10

ومن الشكل نستنتج أن: $\frac{x_2 - x_1}{2} = a$ والذي يمثل امتداد المنبع الضوئي وأن : $\frac{x_2 + x_1}{\ell} = 2\sin\theta$

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل : $r_2'' - r_1'' \approx 2a \cdot \sin\theta$

A to Z

ومن أجل أن تتشكل شدة عظمى في النقطة p نتيجة لتداخل الأمواج الواردة من النقطتين L"1 و L"2 يجب أن يكون فرق المسار الذي تقطعه هذه الأمواج صغيراً" مقارنة بنصف طول الموجة λ/2. لذلك يمكن استنتاج قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظمية :

$$r_2'' - r_1'' \approx 2a \cdot \sin\theta << \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow a << \frac{\lambda}{4\sin\theta}$$

وفي الحالة التي تكون فيها θ صغيرة جداً" يمكن تبسيط العلاقة السابقة الى الشكل : $a << \frac{\lambda}{4 \cdot \theta}$

ب)- بسبب التعريض الناتج عن مفعول دوبلر لأنها تتحرك بسرعات واتجاهات مختلفة مما يؤدي إلى تعريض اضافي لترددات الأشعة وتكون النتيجة تناقصاً في طول الترابط لهذه الأشعة . (3)

ج 3 : (14 درجة)

1) يجب تسخين أنبوب الانفراغ من أجل تجنّب عملية تكاثف الأبخرة المعدنية على نوافذ بروستر. (2)
2) لأنها تقوم بدور المرجع الكيميائي وتمنع حدوث عملية تفكك جزيئة غاز ثاني أكسيد الكربون. (2)
3) لأنها ذات ناقلية حرارية كبيرة من أجل عملية التوزيع الحراري السريع الى خارج الأنبوب، ومقاومتها للصدم كبيرة لتجنّب تلف جدران الأنبوب الداخلية نتيجة للتصادمات التي تسببها شوارد الغاز. (2)
4) لأنه مع ازدياد نفوذية المرآة سيتطلب ذلك زيادة في طاقة ضخ العتبة وبالتالي تناقص طاقة الخرج الليزرية. (2)
5) لأن الأشعة الليزرية الناتجة عن ليزرات الجسم الصلب تتميز بخطوط طيفية ذات عرض كبير نسبياً. (2)
6) لأنها تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي الى تفكك جزيئات الأكسيمر. (2)
7) لأن عمل ليزر أحادي أكسيد الكربون يتطلّب تبريداً للغاز إلى درجة حرارة تصل إلى $T \leq 100K$. (2)

ج 4 : (18 درجة)

أ- ليزر الإكسيمر:

ان كلمة إكسيمر تعبّر عن ذرتين مرتبطتين مع بعضهما البعض وتتواجدان في الحالة المثارة. ان اصدار أشعة الليزر ينتج عن انتقالات للالكترونات من الحالة الحرة الى الحالة المرتبطة ضمن جزيئة الإكسيمر المثارة ، والانتقال المترافق باصدار أشعة الليزر يتم بين السوية الجزيئية شبه المستقرّة والسوية الأساسية غير المستقرّة . يمكن اعتبار أن السوية الليزرية الأساسية السفلى غير مشغولة بالالكترونات وذلك لأن زمن التفكك للجزيئة في هذه السوية صغير جداً" لذلك يكون زمن الضخ بواسطة الأشعة الالكترونية أو بواسطة الإنفراغ الكهربائي طويلاً" وهذا يؤدي الى كفاءة عالية في المردود. ومن أجل الحصول على فعّالية ومردود

عالي في تشكّل الإكسيمر يتطلب ذلك أن يكون ضغط الغاز كبيرا". وأكثر الخسارات التي تتعرّض لها أشعة ليزرات الإكسيمر ناتجة عن عمليات الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية والتي تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي إلى تفكك جزيئات الإكسيمر.و يمكن تمثيل عملية اثارة ليزر KrF^* عند استخدام الأشعة الالكترونية بالمخطط التالي :

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^{+*} + 2e^-$$

$$e^- + F_2 \rightarrow F + F^-$$

$$F^- + Kr^{+*} + M \rightarrow KrF^* + M$$

أما عند استخدام طريقة الانفراغ الكهربائي لاثارة ليزر KrF^* فيكون المخطط بالشكل التالي:

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^* + e^-$$

$$Kr^* + F_2 \rightarrow KrF^* + F$$

ب- يأخذ عامل التضخيم قيمته العظمى عندما يأخذ التابع $g_{(\upsilon 0)}$ القيمة $(1/\Delta\upsilon)$ وبالتعويض:

$$\alpha_{(\upsilon)\max} = (N_2 - N_1)\frac{\lambda^2}{\Delta\upsilon \cdot V \cdot 8\pi \cdot \tau}$$

حتى يبدأ الليزر بإصدار الأشعة يجب أن يكون التضخيم أكبر من الخسارة $(\alpha_{max} \geq \beta)$ أي أن :

$$(N_2 - N_1)\frac{\lambda^2}{\Delta\upsilon \cdot V \cdot 8\pi \cdot \tau} \geq \beta \quad \Rightarrow \quad \frac{(N_2 - N_1)}{\tau} \geq \frac{\beta \cdot \Delta\upsilon \cdot V \cdot 8\pi}{\lambda^2}$$

وبما أن شدة التيار هي عبارة عن كمية الكهرباء المارة في واحدة الزمن: $I = \frac{N_2 \cdot e}{\tau}$

وبما أنه في حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة يكون لدينا $N_2 >> N_1$ لذلك يمكننا اهمال N_1 بالنسبة لـ N_2 وتصبح العلاقة (4) بالشكل :

$$\frac{N_2}{\tau} \geq \frac{\beta \cdot \Delta\upsilon \cdot V \cdot 8\pi}{\lambda^2}$$

وإذا ضربنا طرفي هذه العلاقة بشحنة الإلكترون e نجد أن :

$$I = \frac{N_2 \cdot e}{\tau} \geq \frac{\beta \cdot \Delta\upsilon \cdot V \cdot 8\pi \cdot e}{\lambda^2}$$

وبما أنّ حجم منطقة الاتصال $(V = s.d)$ حيث s سطح المتصل الثنائي و d سماكة هذه المنطقة فبالتعويض في العلاقة السابقة ينتج لدينا :

$$I \geq \frac{\beta \cdot \Delta\upsilon \cdot s \cdot d \cdot 8\pi \cdot e}{\lambda^2}$$

$$J = \frac{I}{s} \geq \frac{\beta \cdot \Delta\upsilon \cdot d \cdot 8\pi \cdot e}{\lambda^2}$$

و هي العلاقة التي تعطي قيمة كثافة التيار اللازم مروره ضمن المتصل الثنائي حتى يبدأ الليزر نصف الناقل بالعمل

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2023-2024

السؤال الأول (10 درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة.

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي معامل التضخيم لليزر ثم استنتج علاقة نسبة التضخيم لأشعة الليزر وكذلك مساحة مقطع عملية الاصدار القسري.

ب- تحدث عن الليزر ثلاثي السويات موضحاً الانتقالات بين السويات المختلفة وخصائص كل سوية.

ت- ما هو الفرق بين خاصية شدة شعاع الليزر وخاصية سطوع شعاع الليزر.

السؤال الثالث (15 درجة)

علّل مايلي:

1) صعوبة الحصول على أشعة ليزرية ذات ترددات كبيرة.
2) استخدام ليزر الهليوم-نيون في مجالات معايرة وتوليف الأنظمة البصرية والميكانيكية.
3) إمكانية وصول المردود الكوانتي في ليزر أحادي أكسيد الكربون إلى نسبة 100%.
4) ضرورة أن يكون ضغط الغاز كبيراً في ليزرات الإكسيمر.
5) إضافة غاز الهليوم في ليزرات الأبخرة المعدنية.

السؤال الرابع (20 درجة)

أ- قارن بين ليزر الهليوم-نيون وليزر النيوديميوم-ياغ موضحاً نقاط الاختلاف بينهما.

ب- لماذا تكون الخصائص الفيزيائية للأشعة التي تصدر من الليزرات التي تستخدم بلورة الياغ أفضل من الليزرات التي تستخدم بلورات زجاجية.

ت- ماهي الميزات التي تتمتع بها ليزرات أنصاف النواقل مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

٢٠٢٤/ ٧/٦

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الثاني للعام الدراسي 2023-2024

ج 1 : (10درجات)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي خارجي تعطى قوة تأثيره بالعلاقة :

$$F = e.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (1)$$

وبالتالي سوف تنزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار x فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\frac{d_2X}{dt^2} + \omega_0^2.X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (2) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون:

$$X_h = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) \qquad (3)$$

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل:

$$X_p = B.\cos(\omega.t + \varphi) \qquad (4)$$

نعوض العلاقة (4) في العلاقة (2) وبالاصلاح نجد أن :

$$-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m} \qquad (5)$$

ومنه نجد أن :

$$B = \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right) \qquad (6)$$

فيكون حل المعادلة (2) هو عبارة عن مجموع حلين :

$$X_{(t)} = X_h + X_p \qquad (7)$$

أي أن :

$$X_{(t)} = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega.t + \varphi) \qquad (8)$$

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : $e.E.\cos(\omega t+\varphi)$ فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة مقدارها:

$$U.dt = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).dX \qquad (9)$$

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن :

$$U = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).\frac{dX}{dt} \qquad (10)$$

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (8) وبعد التعويض نحصل على :

$$U = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0.t + \varphi_0).\cos(\omega.t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}.\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}.\sin(\omega.t + \varphi).\cos(\omega.t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي الصفر وعندما تكون التواترات قريبة جدا" من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل :

$$U = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2} \qquad (12)$$

اذا" وفقا" لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة :

- اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .
- اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

مكتبة A to Z

ج 2 : (25 درجة)

أ- يمكن وصف الشعاع الضوئي بواسطة شدته التي تعطى بالعلاقة : $I_{(\upsilon)} = c \cdot \rho_{(\upsilon)}$

ان التغير الكلّي في شدة الأشعة الصادرة أو النافذة من المادة $I_{(\upsilon)}$ نتيجة تفاعل الشعاع الضوئي مع ذرات الوسط المتواجدة في المسافة Δz يحدث نتيجة مساهمة العمليات التالية:

عملية الامتصاص : $\Delta I_A = -N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار العفوي : $\Delta I_{spont} = N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار القسري : $\Delta I_{induced} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

وبالتالي فان التغيّر الكلي هو مجموع التغيّرات السابقة: $\Delta I_{(\upsilon)} = \Delta I_{induced} + \Delta I_A + \Delta I_{spont}$

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

نعوض قيمة $\rho_{(\upsilon)} = \frac{I_{(\upsilon)}}{c}$ فنحصل على :

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} + N_2 \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

وبما أن عملية الاصدار التلقائي تتم في كافة الأحوال لأنها لاتتعلق بالشدة $I_{(\upsilon)}$ وفي تقريب مقبول يمكن اهمال الحد الناتج عنها:

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

وبماأن : $B_{12} = B_{21}$ وأن : $N_2 - N_1 = \Delta N$ فإن:

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot B_{21} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

ومن المعلوم أن :

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \Rightarrow B_{21} = A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}$$

نعوض قيمة B_{21} في العلاقة السابقة فنجد أن :

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}\right) \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{c^2}{8\pi \cdot \upsilon^2} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بدلالة طول الموجة λ لتأخذ الشكل : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

نرمز بـ $\gamma_{o(\upsilon)}$ للمقدار : $\gamma_{0(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)}$ ويدعى معامل التضخيم لليزر .

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{I_{(\upsilon)}} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot dz \Rightarrow \frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

12

مكتبة A10Z

بمكاملة طرفي هذه العلاقة مع الأخذ بعين الاعتبار أن dz تتغير من القيمة 0 الى القيمة L التي تمثل أبعاد المادة التي طولها L فنجد أن : (4)

$$I_{\upsilon(L)} = I_{\upsilon(0)} \cdot e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L} \qquad \Rightarrow G_{(\upsilon)} = \frac{I_{\upsilon(L)}}{I_{\upsilon(0)}} = e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L}$$

يسمى المقدار $G_{(\upsilon)}$: نسبة التضخيم لأشعة الليزر ،كما أن واحدة المقدار: $A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$ هي واحدة مساحة و تعرف باسم مساحة مقطع عملية الاصدار القسري: (2)

$$\sigma_{SE(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$$

ب- في الليزر ثلاثي السويات يوجد ثلاث سويات للطاقة E_0 ، E_1 و E_2 حيث تستطيع الإلكترونات بوساطة عملية الضخ الضوئي الانتقال إلى السوية E_2 ويجب أن يكون عمر الحالة المثارة لهذه السوية صغيراً جداً لذلك تبقى عند وجود ضخ ضوئي قوي شبه فارغة. وبعد ذلك سوف يكون لها امكانيتان لاعطاء طاقتها والعودة إلى السوية الأساسية E_0 ، إمّا الانتقال مباشرة إلى السوية E_0 وذلك عبر عملية الإصدار التلقائي أو الانتقال بشكل غير مباشر من خلال الانتقال أولاً إلى السوية E_1 واعطاء الطاقة بشكل غير مشع. وبما أن عمر السوية E_1 أكبر من عمر السوية E_2 يؤدي ذلك إلى ازدياد عدد الإلكترونات في السوية E_1 . بعد ذلك تنتقل الإلكترونات من السوية E_1 إلى السوية الأساسية E_0 بوساطة عملية الإصدار القسري وبالتالي تحقيق انتقال ليزري بين السويتين E_1 و E_0 . (5)

ت- خاصية شدة شعاع الليزر تحدد الإستطاعة الساقطة على واحدة المساحة حيث الشدة : $I = P/\lambda^2$ ، بينما خاصية السطوع هي الاستطاعة الصادرة عن واحدة المساحة من السطح لكل واحدة زاوية مجسمة . (2)

ج 3 : (15 درجة)

1) لأن احتمال الانتقال للاصدار القسري يتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد ($B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3}$) . أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة. (3)

2) لأن أشعته تتميز بكثافة عالية واتجاهية دقيقة وبثبات واستقرار في التردد. (3)

3) لأن آلية تحويل الطاقة الاهتزازية إلى طاقة انتقالية أو طاقة حرارية ضمن جزيئة أحادي أكسيد الكربون يكون بطيئاً جداً. (3)

4) من أجل الحصول على فعّالية ومردود عالٍ في تشكّل الإكسيمر وعلى عدد كبير من الجزيئات في الحالة المثارة. (3)

5) لأن ذراته تشارك في عملية التصادمات لتحقيق عملية الانفراغ كما يلعب دوراً أساسياً في المحافظة على استمرارية الانفراغ الغازي . (3)

ج 4 : (20 درجة)

أ- مقارنة بين ليزر الهليوم-نيون وليزر النيوديميوم-ياغ:

	ليزر هليوم-نيون	ليزر نيوديميوم - ياغ
نوع الليزر	ليزر غازي	ليزر جسم صلب
مجال العمل(طول الموجة)	632,8 nm (المجال المرئي)	1062 nm (مجال تحت الأحمر)
الاستطاعة	ضعيفة (من مرتبة mW)	عالية (من مرتبة W أو kW)
الوسط الفعّال	ذرات النيون	شوارد النيوديميوم الثلاثية
طريقة الضخ	انفراغ غازي	ضخ ضوئي بوساطة ليزر نصف ناقل
مجال الاستخدام	في مجالات مختلفة مثل أداة ضبط وتحكّم في تقنيات قياس الأطوال ، في قياس السرعات ، قياس نعومة السطوح المستوية ، التصوير الثُلاثي الأبعاد	كمنبع ضوئي في التطبيقات ضمن مجال البصريات اللاخطية وكذلك المتاعيل اللاخطية
طريقة العمل	مستمر	مستمر أو نبضي

ب- بسبب التجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ.

ت- تتميّز ليزرات أنصاف النواقل بالمقارنة مع الليزرات الأخرى بالخصائص التالية:

- درجة فعّالية عالية للاستطاعة (مردود عالٍ).
- طريقة الإثارة (عملية الضخ) السهلة والبسيطة للوسط الليزري الفعّال ، حيث يتم تحويل الطاقة الكهربائية بشكل مباشر إلى أشعة.
- أبعاد وحجوم ليزرات أنصاف النواقل المتناهية في الصغر وتتراوح هذه الأبعاد أجزاء من الميلليمتر.
- إمكانية التعديل المباشر للتردد من خلال التيار الكهربائي.
- تطبيق جهود إثارة صغيرة جداً .
- عمر الاستخدام الطويل جداً حيث يصل إلى 10^7 ساعة عمل.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2024-2023

السؤال الأول (12 درجة)

أكتب العلاقات التي تعبّر عن عمليات الاصدار التلقائي، الامتصاص والاصدار القسري باستخدام معاملات أينشتاين ثم استنتج أن معامل الاصدار القسري يساوي معامل الإمتصاص وكذلك العلاقة التي تربط بين معامل الاصدار التلقائي ومعامل الاصدار القسري . وذلك إذا علمت أن قانون بلانك للاشعاع هو:

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \cdot \left(\frac{1}{e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right)$$

مكتبة A to Z

السؤال الثاني (25 درجة)

إذا علمت أنّ معادلات النسبة لليزر رباعي السويات هي:

$$\frac{d\,n}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p\left(n_{tot} - n\right)$$

$$\frac{d\,p}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

والمطلوب:

1) ناقش الحلول المستقلة عن الزمن والتي تعبّر عن حالة العمل المستقر لليزر.
2) ارسم الخط البياني الذي يمثّل تغيّر كثافة الفوتونات كتابع لنسبة الضخ.
3) تحدّث عن عملية الضخ الكيميائي، وعدّد عمليات الضخ الأخرى المستخدمة في الليزرات المختلفة.

السؤال الثالث (13 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الشدة الكلية لموجة كهرطيسية ناتجة عن عملية تداخل بين موجتين كهرطيسيتين ثمّ استنتج حد التداخل، ثم اشرح حالة الترابط.

السؤال الرابع (20 درجة)

تحدث عن الأسس الفيزيائية لليزرات الجسم الصلب من حيث الوسط الليزري الفعّال وعملية الضخ، ثم اشرح خصائص ومبدأ عمل ليزر النيوديميوم-زجاج.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

٢٠/٤/٢٠٢٤

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء

سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي 2023-2024

ج 1 : (12درجة)

الإصدار التلقائي:

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} \cdot N_2$$

الامتصاص

$$\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$$

الإصدار القسري:

$$\frac{dN_2^*}{dt} = -B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$$

من قانون إنحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب :

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} + \frac{dN_2^*}{dt}$$

بالتعويض نحصل على :

$$N_1 \cdot B_{12} \cdot \rho_{(\upsilon)} = [A_{21} + B_{21} \cdot \rho_{(\upsilon)}] N_2$$

ومنه نجد أن :

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21} \cdot N_2}{B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2} \quad => \quad \rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2}(B_{12} - B_{21})}$$

نعوض عن $\frac{N_1}{N_2}$ بقيمته من قانون ماكسويل بولتزمان:

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \cdot e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right]$$

وهذه العلاقة تمثل قانون أينشتاين في الإشعاع وبمقارنتها مع قانون بلانك نستنتج أنه حتى يكون هناك تطابق بين العلاقتين يجب أن يكون :

$$B_{21} = B_{12} = B$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3}$$

ج 2 : (25 درجة)

1) حالة العمل المستقّر لليزر وفي حالة التوازن التي يعبّر عنها بالمعادلات: (1) $\frac{dn}{dt} = 0 \quad , \quad \frac{dp}{dt} = 0$

وبالتعويض نجد أن:

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p \cdot (n_{tot} - n) = 0 \qquad (2)$$

$$n = \frac{W_p \cdot n_{tot}}{\sigma \cdot c \cdot p + \Gamma + W_p} \qquad (3)$$

طالما الليزر يعمل تحت قيمة عتبة فلا يتشكّل أي حقل فوتونات أي أن ($p = 0$) ومن أجل نسبة ضخ صغيرة جداً ($W_p << \Gamma$) عندها تعطى قيمة الانعكاس بالعلاقة:

$$n = \frac{W_p \cdot n_{tot}}{\Gamma} \qquad (4)$$

وكثافة الفوتونات تصبح بعد أخذ العلاقة (1) بعين الاعتبار:

$$\frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right) = 0 \qquad (5)$$

A to Z صفحة

وفي الحالة التي تكون فيها قيمة الانعكاس عند قيمة العتبة معروفة وذلك في حالة الليزر المستقر يمكن انطلاقا" من ذلك استنتاج العلاقة التي تعطي كثافة الفوتونات p ، فمن أجل ذلك نعوض $n = n_{th}$ في العلاقة (3) وبعد الاصلاح نحصل على العلاقة التالية:

$$p = \tau_{ph}\left[W_p(n_{tot} - n_{th}) - \Gamma \cdot n_{th}\right]$$

$$p = \tau_{ph}\left[(n_{tot} - n_{th})\left(W_p - \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot} - n_{th}}\right)\right] \qquad (6)$$

8

واذا عرّفنا نسبة الضخ عند العتبة بالعلاقة:

$$W_{th} = \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot} - n_{th}} \qquad (7)$$

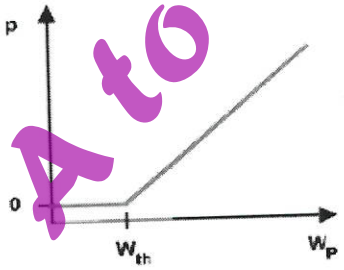
في هذه الحالة يمكن كتابة العلاقة (6) بدلالة W_{th} لتصبح: $p = \tau_{ph}(n_{tot} - n_{th})(W_p - W_{th})$ (8)

وفي حالة الليزر رباعي السويات لدينا بشكل عام ($n_{tot} >> n_{th}$) أي أنه يمكننا اهمال قيمة n_{th} بالمقارنة مع قيمة n_{tot} في العلاقة (7) لتأخذ الشكل:

$$W_{th} = \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot}} \qquad (9)$$

كما أن علاقة كثافة الفوتونات (8) تأخذ الشكل : $p = \tau_{ph} \cdot n_{tot}(W_p - W_{th})$ (10)

2) من أجل ($W_p < W_{th}$) تكون كثافة معدومة أي أن : $p = 0$ وذلك موضح بالشكل التالي.



2

مكتبة A to Z

3)- الضخ الكيميائي (الضخ بواسطة تفاعل بين ذرات أوجزيئات) :

وهذه الطريقة تُعتبر شكل خاص من أشكال الضخ التي تُستخدم في بعض أنواع الليزرات الغازية .حيث يُستفاد من طاقة التفاعلات الكيميائية الناتجة في إثارة السويات الإلكترونية لإحدى الذرات المشاركة في التفاعل الكيميائي.ومن العمليات التي تحدث في هذا النوع من الضخ الكيميائي :

أ- تفاعلات التفكك الضوئية : حيث تتفكك بعض الجزيئات الى مركبات ثانوية من خلال تفاعلها مع أشعة ضوئية و يكون أحد نواتج التفكك في الحالة المثارة: $AB + h\upsilon \rightarrow A^* + B$

6

ب- تفاعلات التبادل الحرارية : حيث تتبادل الذرات مواقعها ضمن الجزيئات لإعطاء جزيئات ذات تركيب كيميائي جديد ويتحول الفرق في الطاقة لإثارة أحد عناصر التفاعل: $A + BC \rightarrow AB^* + C$

ج-تفاعلات الاتحاد بين ذرات مختلفة بوجود ذرة وسيطة: $A + B + M \rightarrow AB^* + M$

ويتم تحفيز التفاعلات الكيميائية المختلفة السابقة إمّا بواسطة اللهب والحرارة أو بواسطة المصابيح الضوئية .

أمّا عمليات الضخ الأخرى هي:**الضخ الضوئي** (الضخ بواسطة موجة كهرطيسية)،الضخ **بواسطة التصادمات** (الضخ بواسطة الإنفراغ الكهربائي)،**الضخ الكهربائي** (الضخ بواسطة مرور تيار كهربائي).

3

ج 3 : (13 درجة)

تعطى متجهات الحقل الكهربائي E_1 و E_2 للموجتين بالعلاقتين :

$$\overrightarrow{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right]$$

$$\overrightarrow{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

ووفقاً لمتجه-بوينتينغ نحصل على العلاقة التالية :

$$J = \frac{1}{Z}(E_1 + E_2)^2$$

نعوّض قيمة كل من E_1 و E_2 وبالاستفادة من مفاهيم علم المثلثات نحصل على العلاقة :

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_1^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1) + A_2^2 + A_2^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2)$$
$$+ 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1) + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1)]$$

وبما أن القيم الوسطية بالنسبة للزمن للتوابع الجيبية التي تحتوي على t تساوي إلى الصفر وذلك خلال دور واحد وعندما يكون الزمن أكبر من دور الاهتزازة وبالتالي تصبح العلاقة السابقة عند مناقشتها خلال دور واحد بالشكل :

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

فإذا اعتبرنا أنّ شدات الموجتان المتداخلتان J_1 و J_2 يمكن كتابتهما بدلالة كل من A_1 و A_2 أي أن :

$$J_1 = \frac{1}{2Z}A_1^2 \quad , \quad J_2 = \frac{1}{2Z}A_2^2$$

وبالتالي نجد أن :

$$J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

نستنتج من هذه العلاقة أنّ الشدة الكليّة J لاتساوي بشكل عام مجموع الشدات الجزئية الموافقة للأمواج المتداخلة J_1 و J_2 وإنما يجب اضافة حداً ثالثاً لهما مرتبطاً بعملية التداخل ويدعى "حد التداخل"

$$2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)$$

نقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_2-δ_1 ثابتاً مع الزمن . أما إذا تغيرت قيم ثوابت الطور δ_2 و δ_1 بشكل غير ثابت أو مستقلين عن بعضهما فتكون الموجتان غير مترابطتين .

ج 4 : (20 درجة)

الوسط الليزري الفعّال: يتكون من شوارد مختلفة تتوضّع بتراكيز محددة ضمن بلورة مضيفة من الزجاج أو من بلورات ذات تراكيب مختلفة . ويمكن توليد أشعة ليزرية ضمن مجال طيفي واسع من ليزرات الجسم الصلب باستخدام عدد كبير جداً من الشوارد التي يتم الحصول عليها من : المعادن، المعادن الانتقالية ومن المعادن النادرة. وتتميز هذه الشوارد بعصابة امتصاص طيفية عريضة لأشعة الضخ.

كما أن الليزرات التي تعتمد على هذه الشوارد تصدر أشعة الليزر على شكل خطوط طيفية متعددة وذات أطوال موجية مختلفة ويتحدد ذلك من خلال :

A to Z مكتبة

-الشاردة الفعّالة التي تقوم بالفعل الليزري.

-نوعية البلورة المضيفة التي تحتوي على شوارد الوسط الفعّال .

عملية الضخ: تتم عملية الضخ بشكل مباشر بوساطة الأشعة الكهرطيسية. وكانتقالات مترافقة بإصدار أشعة ليزرية تفضّل تلك الانتقالات التي تعطي شدات أشعة طيفية عالية في طيف الفلورة لشوارد الوسط الفعّال ، ويمكن تصنيف هذه الانتقالات على الشكل التالي:

- **الانتقالات الأساسية:** وهي الانتقالات التي تحدث بين مركبات السويات المتعددة.
- **الانتقالات المتسلسلة أو الشلالية:** وهذه الانتقالات تحدث بين سويات شبه مستقرّة متتالية.
- **الانتقالات من النوع إلكترون–فونون** : تحدث نتيجة لإثارة اهتزازات الشبكة البلورية .

5

و يتم توليد أشعة الضخ باستخدام مصابيح ذات أشكال متعددة وغازات مختلفة (الزينون ، الكريبتون ، مصابيح زئبقية ذات ضغط عالٍ ، مصابيح هالوجينية). أو بوساطة ليزرات أخرى.

و يجب أن يكون القسم الأكبر من الأشعة التي تصدرها هذه المصابيح واقعاً ضمن المجال الطيفي لخطوط امتصاص الوسط الليزري الفعّال.

ليزر نيوديميوم–زجاج : يتألف الوسط الليزري الفعّال من شوارد النيوديميوم الثلاثية Nd^{3+} التي تتوضّع بتراكيز تتراوح بين ***(0,5 - 8%)*** في بلورة من الزجاج . ويصدر هذا الليزر أشعة طول موجتها ***1,062 µm*** أي ضمن مجال ماتحت الأحمر. كما يلائم بشكل جيد لتوليد نبضات ليزرية عالية الاستطاعة تستخدم في تفاعلات الاندماج النووية وكذلك يمكن توليد أشعة باستطاعة منخفضة في حالة الاستخدام كمنبع ضخ ضوئي في الليزرات الأخرى.وكبلورة مضيفة تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج منها زجاج السيليكات، زجاج الفوسفات وزجاج الباريوم وتتركز المميزات الايجابية للزجاج على خاصيتين هما :

- عملية التصنيع السهلة وذلك حتى من أجل الأبعاد والحجوم الكبيرة للبلورات.
- النوعية الجيدة والخصائص البصرية الملائمة التي تبديها الأنواع المختلفة للزجاج.

10

بينما تنحصر السلبيات في :

- الناقلية الحرارية الضعيفة مما يسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري الفعّال .
- مساهمة الزجاج في زيادة عرض الخطوط الطيفية للإصدار والامتصاص الناتج عن شوارد الوسط الليزري الفعّال بشكل غير متجانس.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم:
المدة: ساعتان
العلامة: 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي 2022-2023

السؤال الأول (10 درجات)

علّل مايلي:

1) ضرورة تسخين أنبوب الإنفراغ في ليزرات الأبخرة المعدنية.
2) إضافة جزيئات من غازات مثل (H_2 , H_2O) في ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون.
3) استخدام الغرانيت أوأكسيد البيريليوم لصناعة أنبوب الإنفراغ في ليزرات شوارد الغازات المثالية.
4) لا يمكن الحصول على أفضل قيمة لطاقة الخرج الليزرية من خلال زيادة نفوذية مرآة المرنان.
5) طول ترابط الأشعة الصادرة من ليزرات الجسم الصلب يكون قصيراً مقارنة مع الليزرات الغازية.

السؤال الثاني (25 درجة)

1) استنتج معادلات النسبة عند حالة التوازن والتي تعبر عن التغير في اسكان سويات الطاقة **n** وكذلك التغير في كثافة الفوتونات **p** في واحدة الحجم وذلك في الليزر رباعي السويات.
2) تحدّث عن عملية الضخ بوساطة التصادمات.

السؤال الثالث (15 درجة)

1) استنتج العلاقة بين طول ترابط أشعة الليزر ℓ وتعرّض الخط الطيفي الليزري $\Delta\upsilon$.
2) عرّف كل من خاصية الترابط الزماني والترابط المكاني التي تتميز بها أشعة الليزر.

السؤال الرابع (20 درجة)

1) تحدّث عن الليزرات الغازية التي تعمل في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي.
2) اشرح مبدأ عمل ليزر الهليوم-نيون .

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الدورة التكميلية للعام الدراسي 2022-2023

ج 1 : (10درجات)

1) يجب تسخين أنبوب الانفراغ من أجل تجنّب عملية تكاثف الأبخرة المعدنية على نوافذ بروستر. (2)

2) لأنها تقوم بدور المرجع الكيميائي وتمنع حدوث عملية تفكك جزيئة غاز ثاني أكسيد الكربون. (2)

3) لأنها ذات ناقلية حرارية كبيرة من أجل عملية التوزيع الحراري السريع الى خارج الأنبوب، ومقاومتها للصدم كبيرة لتجنّب تلف جدران الأنبوب الداخلية نتيجة للتصادمات التي تسببها شوارد الغاز. (2)

4) لأنه مع ازدياد نفوذية المرآة سيتطلب ذلك زيادة في طاقة ضخ العتبة وبالتالي تناقص طاقة الخرج الليزرية. (2)

5) لأن الأشعة الليزرية الناتجة عن ليزرات الجسم الصلب تتميز بخطوط طيفية ذات عرض كبير نسبياً. (2)

ج 2 (25 درجة)

1-: إذا اعتبرنا أن n_{tot} هو عدد الالكترونات الكلّي التي تتواجد في السويات الأربعة في ليزر رباعي السويات وهذا العدد ذو قيمة ثابتة ويعطى بالعلاقة :

$$n_{tot} = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 = const \quad (1)$$

$$\Rightarrow \frac{dn_{tot}}{dt} = 0 \quad (2)$$

وبما أن عمر الحالة المثارة للسويتين E_3 وE_1 صغيراً بالمقارنة مع السويات الأخرى لذلك يمكن اعتبارها خالية من الالكترونات أي ($N_3 = N_1 \approx 0$) وبالتالي تصبح المعادلة (1) بالشكل :

$$n_{tot} \approx N_0 + N_2 \quad (3)$$

وفي حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة يكون لدينا :

$$n = N_2 - N_1 \approx N_2 \quad (4)$$

وذلك لأن $N_1 \approx 0$ فمن ذلك يمكننا أن نستنتج أن :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dN_2}{dt} \quad (5)$$

كما أن عدد الالكترونات في هذه السوية E_2 يتغير وفقاً لعدة عمليات مختلفة منها :

-عملية الضخ الضوئي (الامتصاص):

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{pump} = \eta \cdot W_{03} \cdot N_0 = W_p \cdot N_0 \quad (6)$$

-الاصدار العفوي:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spont} = -\Gamma \cdot N_2 \quad (7)$$

-الاصدار القسري:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1) \quad (8)$$

وبما أن : $n = N_2 - N_1$ نجد أن :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n \quad (9)$$

وبشكل عام يكون التغيّر بالنسبة للزمن لعدد الالكترونات في السوية E_2 هو عبارة عن مجموع كافة التغيّرات السابقة أي أن :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot N_2 + W_p \cdot N_0 \quad (10)$$

12

A to Z

وبمقارنة العلاقة (10) مع العلاقة (5) وبتعويض قيمة N_0 من العلاقة (3) و أن ($n \approx N_2$) نجد أن :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p \cdot (n_{tot} - n) \qquad (11)$$

أما تغيّر كثافة الفوتونات الناتجة عن الانتقالات القسرية بالنسبة للزمن :

- التغير الناتج عن عملية الاصدار القسري: $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stimu} = \left(-\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1)$

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stimu} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n \qquad (12)$$

-التغيّر الناتج عن الخسارة ضمن المرنان: $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{loss} = -\frac{p}{\tau_{ph}} \qquad (13)$

حيث يعبّر τ_{ph} عن زمن التخامد في كثافة الفوتونات الناتجة عن الخسارة ضمن المرنان .

و يكون التغيّر الكلّي هو: $\frac{dp}{dt} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{p}{\tau_{ph}} \Rightarrow \frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right) \qquad (14)$

2- تعتمد هذه الطريقة في إثارة سويات الطاقة للذرات أو الجزيئات بوساطة عمليات تبادل للطاقة غير مشعة. وتحدث هذه العمليات عندما تكون المواد في حالتها الغازية وذلك نتيجة التصادمات بين ذرات الغاز، ويمكن التمييز بين نوعين من التصادمات : تصادمات مرنة و تصادمات لامرنة .

ويمكن الاستفادة من التصادمات المرنة حيث تصطدم الإلكترونات المسرّعة أو الشوارد الكهربائية مع الذرات أو الجزيئات الغازية ويترافق ذلك بانتقال الطاقة الحركية لهذه الإلكترونات إلى طاقة داخلية في الذرات والجزيئات وتؤدي إلى نقلها إلى سويات مثارة . وتترافق التصادمات اللامرنة بعملية انتقال طاقة بين الجسيمات المتصادمة مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية لأن جزءاً من طاقة الإثارة يتحول إلى طاقة حركية .

و تتم عملية التصادمات إمّا بطريقة الانفراغ الذاتي حيث تتولّد الشحنات الكهربائية ذاتياً خلال عملية الانفراغ أو بطريقة الانفراغ غير الذاتي حيث تتولّد الشحنات تحت تأثيرات خارجية مثل القذف بالإلكترونات المسرَّعة .

كما يمكن أن تكون التصادمات بين ذرات من نفس النوع وبالتالي فإن إثارة هذه الذرات يكون عبر تصادمها مع الإلكترونات المسرّعة . أو تصادمات بين نوعين مختلفين من الذرات بحيث تكون إحداهما في الحالة المثارة بينما الأخرى في الحالة الأساسية وبعد التصادم يحدث انتقال للطاقة بينهما فتصبح الذرة المثارة في حالتها الأساسية والذرة الأخرى تصبح في حالتها المثارة.

ج 3 : (15 درجة)

نعبّر عن التوزّع الطيفي بدلالة التردد υ بدلاً من طول الموجة λ فاننا نحصل على العلاقة التالية بينهما:

$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_0} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow \Delta\upsilon \approx \upsilon_0 \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \qquad (*)$$

اذا كانت δ_1 و δ_2 تملك قيما متساوية فاننا نحصل على شدة عظمى من أجل λ_0 عندما يكون: $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_0} = n$

بينما من أجل طول الموجة λ_1 تكون شدة التداخل صغرى وهذا يتحقق عندما يكون: $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_1} = \frac{2n+1}{2}$

إن التمايز في شدات التداخل بين عظمى وصغرى من أجل λ_0 و λ_1 يتوافق تماما مع تعريف طول الترابط ℓ

وبالتالي انطلاقا من العلاقتين السابقتين نحصل على : $\ell = r_2 - r_1 = \frac{1}{2\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}\right)} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_0}{2(\lambda_0 - \lambda_1)}$

واذا أخذنا التقريب التالي بعين الإعتبار: $\lambda_0 - \lambda_1 = \frac{\Delta\lambda}{2}$

وعندما تكون $\Delta\lambda$ صغيرة جدا يمكن أن نعتبر $\lambda_0 \approx \lambda_1$ وبالتالي تصبح علاقة ℓ بالشكل: $\ell \approx \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$

$$\tau = \frac{\ell}{c} = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

وبمقارنة هذه العلاقة مع العلاقة (*) نحصل على: $\tau = \frac{1}{\Delta\upsilon}$

وبالتالي نستنتج أن: $\ell = \frac{c}{\Delta\upsilon}$

أي أن طول الترابط لأشعة صادرة عن منبع ضوئي يزداد كلما تناقص التعرّض الطيفي $\Delta\upsilon$ لهذه الأشعة.

2)–خاصية الترابط الزماني هي الحالة التي تتعلّق بالتوزّع الطيفي للمنبع الضوئي وترتبط مباشرة مع زمن الترابط.

وخاصية الترابط المكاني تصف التأثيرات التي تتعلّق بحجم المنبع الضوئي وبالتالي ارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع الضوئي مع بعضها البعض.

ج 4 : (20 درجة)

1- يمكن توليد أشعة ليزرية في المجال المرئي عند استخدام عددٍ من الغازات المختلفة كوسط ليزري فعّال. ومن أهم الليزرات الغازية التي تصدر أشعة ليزرية مرئية :

- ليزر هليوم– نيون .
- الليزرات التي تستخدم فيها شوارد الغازات المثالية كوسط ليزري فعّال.
- ليزرات الأبخرة المعدنية.

وتتميز هذه الليزرات باستقرار وثبات عاليين في التردد ، وكذلك بالحصول على استطاعات عالية في حالة عمل الليزر بشكل مستمر كما هو الحال في ليزرات شوارد الغازات المثالية.

والانتقالات التي تحدث في الوسط الليزري الفعّال لهذه الليزرات هي عبارة عن انتقالات إلكترونية تحدث في الذرات المعتدلة أو في شوارد الذرات أو في الجزيئات المعتدلة.

2- **ليزر الهليوم–نيون** (He-Ne Laser) :

إن ليزر الهليوم–نيون هو عبارة عن ليزر غازي يعمل بشكل مستمر في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي وكذلك يمكن أن يعمل أيضا في مجال ما تحت الأحمر. ويتميز هذا الليزر بأنه يعطي إستطاعات خرج صغيرة من

مرتبة الميلي واط، كما أن تصميم هذه الليزرات بسيط وذات كلفة مادية قليلة. كما يعتبر ليزر الهليوم-نيون من أكثر الليزرات استخداما" وخاصة عند طول الموجة الذي يقع في المجال المرئي $\lambda = 632,8\ nm$ أي ذو لون أحمر والذي تتميز أشعته بكثافة عالية واتجاهية دقيقة مما يسمح باستخدامه في مجالات توليف ومعايرة الأنظمة البصرية والميكانيكية وكذلك في أجهزة التحكّم والسيطرة.

12

وللحصول على حالة انعكاس اسكان سويات الطاقة تستخدم طريقة الانفراغ الكهربائي حيث تتم إثارة الكترونات ذرة النيون الى السويات الليزرية العليا بواسطة التصادمات اللامرنة بين ذرات النيون وذرات الهليوم شبه المستقرة والتي تكون في الحالة المثارة نتيجة تصادمها المباشر مع الالكترونات.وتتم عملية تفريغ السويات الليزرية السفلى بواسطة الإصدار العفوي ، كما تساهم عملية تصادم الذرات المثارة مع الجدران الداخلية للأنبوب الحاوي على الغاز في تفريغ هذه السويات .

ليزر الهليوم-نيون يعتبر أحد الليزرات الغازية التقليدية والذي يتميز بطول ترابط كبير لأشعته . كما يتميز هذا الليزر بثبات واستقرار في التردد تعطيه أهمية كبيرة للاستخدام في مجالات مختلفة مثل أداة ضبط وتحكّم في تقنيات قياس الأطوال ، قياس السرعات ، قياس نعومة السطوح المستوية ، التصوير الهولوغرافي.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A+07

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2022-2023

==========

السؤال الأول (12 درجة)

علّل ما يلي:

أ- سبب الصعوبات التقنية الكبيرة عند تصنيع الليزرات التي تعمل في مجال الأمواج القصيرة.
ب- تعرّض الخطوط الطيفية الناتج عن تأثير مفعول دوبلر يكون غير متجانس.
ت- عدم إمكانية الحصول على انتقال ليزري من منظومة ذرية ثنائية السويات في حالة التوازن.
ث- تصميم أطراف أنبوب الليزر الغازي على شكل زاوية تعادل زاوية بروستر.
ج- أكثر الخسارات التي تتعرض لها أشعة ليزرات الإكسيمر تنتج عن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية.
ح- تكون الخصائص الفيزيائية للأشعة التي تصدر من الليزرات التي تستخدم بلورة الياغ أفضل من الليزرات التي تستخدم بلورات زجاجية.

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية، ثم استخرج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي، ثم ارسم بيانياً تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي، مع العلم أن كثافة الفوتونات تعطى بالعلاقة: $p = \tau_{ph} \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th})$.

ب- اشرح ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) والتي تلاحظ في ليزرات الجسم الصلب.

السؤال الثالث (13 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظم ما يمكن.

السؤال الرابع (20 درجة)

أ- ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات.
ب- اشرح مبدأ عمل ليزرات الأبخرة المعدنية.

==========

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الثاني للعام الدراسي 2022-2023

ج 1 : (12درجة)

أ- لأن احتمال الانتقال للإصدار القسري يتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد $(B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3})$. أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة جداً.

ب- لأنه في حالة تعرض دوبلر يمكننا التمييز بين مجموعة من الذرات وأخرى وذلك حسب سرعتها وفقاً لمعادلة ماكسويل- بولتزمان لتوزع السرع.

ت- لأنه دائماً لدينا ازدياد في الإصدار التلقائي على حساب الإصدار القسري، وكذلك فان عملية الضخ الضوئي لا تؤدي إلى تحقيق انعكاس في إسكان سويات الطاقة لأن أشعة الضخ سوف تؤدي إلى امتصاص واصدار قسري بشكل متساو أي أن: $B_{21} = B_{12}$.

ث- لتجنّب الخسارة الناتجة عن عملية الانعكاس على سطوح النوافذ.

ج- لأنها تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي الى تفكك جزيئات الأكسيمر.

ح- بسبب التجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ.

ج 2 (25 درجة)

أ-يمكن وصف الطاقة E المختزنة ضمن المرنان بالعلاقة: $E = p \cdot V \cdot \Delta E_{21} = p \cdot V \cdot h\upsilon_{21}$

وطاقة الخرج الليزرية هي الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان أي: $P_A = \frac{E \cdot T}{\tau_R}$

حيث: T هي عبارة عن نفوذية مرآة المرنان و τ_R الزمن الذي تستغرقه الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن المرنان. وبتعويض E بقيمتها فنجد أن : $P_A = \frac{p \cdot V \cdot \Delta E_{21} \cdot T_r}{\tau_R}$

واذا عوضنا عن p بقيمتها نجد أن : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot T \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{\tau_{ph}}{\tau_R}$

والمقدار $(\frac{\tau_{ph}}{\tau_R})$ يمثل قيمة التخامد في الفوتونات خلال دورة واحدة ويعطى بالعلاقة: $\frac{\tau_{ph}}{\tau_R} = \frac{1}{T+L}$

حيث L تمثل مجموع الخسارات وبالتعويض في p_A نحصل : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{T}{T+L}$

ولتحقيق نسبة الضخ W_p يجب اعطاء طاقة للوسط الليزري الفعّال والتي تتناسب مع عدد الالكترونات في الحجم الكلّي للوسط الليزري الفعّال وبفرق الطاقة ΔE_{30} ومع احتمال الانتقالW_{03} ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot W_{03}$$

A to Z

وانطلاقاً من تعريف مردود عملية الضخ الضوئي نجد أن :

$$\eta = \frac{W_p}{W_{03}} \Rightarrow W_{03} = \frac{W_p}{\eta}$$

بالتعويض:

$$P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_p}{\eta}$$

وبطريقة مشابهة نستنتج طاقة الضخ عند العتبة P_{th} حيث :

$$P_{th} = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_{th}}{\eta}$$ (8)

ومن العلاقات السابقة يمكن حساب نسبة الضخ :

$$W_p = \frac{\eta \cdot P_p}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$$

و نسبة الضخ عند قيمة العتبة :

$$W_{th} = \frac{\eta \cdot P_{th}}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$$

نعوض قيم W_p و W_{th} في علاقة P_A فنجد أن :

$$P_A = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L} \cdot \left(P_p - P_{th}\right)$$

ومن أجل قيم لطاقة الضخ P_p أكبر P_{th} تكون العلاقة بين طاقة الخرج P_A وطاقة الضخ P_p خطية متزايدة

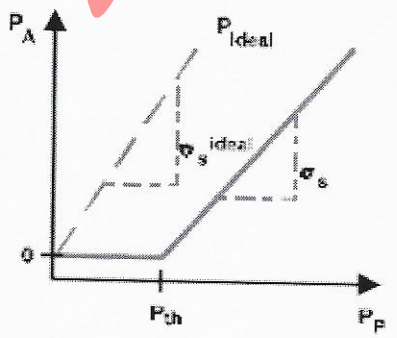
وميل المستقيم الناتج يدعى درجة التأثير التفاضلية وتعطى بالعلاقة :

$$\sigma_s = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L}$$ (2)

وفي الحالة الخاصة التي تمثل الليزر المثالي يكون مجموع الخسارات الناتجة عن المرنان معدومة أي أن (L = 0) تكون درجة التأثير التفاضلية في هذه الحالة :

$$\sigma_s^{ideal} = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}}$$ (2)

و الخط البياني الذي يمثل تابعية طاقة الخرج P_A لطاقة الضخ P_p .



(3)

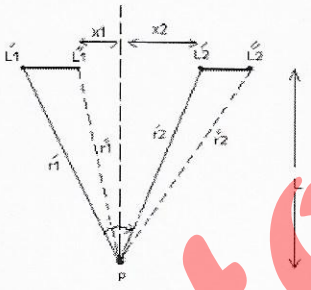
ب–ظاهرة التوالد النتوئي:

عند بدء عملية الضخ ($t = 0$) لا يوجد عملياً أية فوتونات ضمن المرنان مادامت طاقة الضخ لم تبلغ قيمة طاقة ضخ العتبة، وبالتالي يبدأ حقل الفوتونات بالتشكّل ضمن المرنان عندما تصل قيمة انعكاس إسكان سويات الطاقة إلى قيمة العتبة. ولكن بسبب الفترة الزمنية التي تحتاجها الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن المرنان يمكن لكثافة الفوتونات أن تصل إلى حالة التوازن خلال هذه الفترة الزمنية. ومن جهة أخرى تزداد أيضاً عملية الانعكاس بشكل خطي متزايد مع الزمن حتى تتجاوز قيمة الانعكاس عند العتبة والتي تؤثر بدورها في ازدياد كثافة الفوتونات لتؤدي بالنهاية إلى انطلاق الليزر. ولكن بما أن الإصدار القسري الناتج عن عمل الليزر سوف يؤدي إلى انخفاض في انعكاس إسكان سويات الطاقة بشكل سريع ليصل إلى قيمة أدنى من قيمة العتبة مما يسبب في تعطيل حقل الإشعاع ضمن المرنان أي إلى تناقص في شدة الأشعة الليزرية وهذا يؤدي بدوره إلى (5)

A to Z

توقف الليزر عن العمل حتى تقوم عملية الضخ بإثارة الذرات من جديد للوصول إلى حالة انعكاس في إسكان سويات الطاقة ومن ثم لتبدأ أشعة الليزر بالازدياد من جديد وهكذا تعود العملية لتبدأ من جديد ولكن يتواجد الليزر في هذه الحالة تحت العتبة بمقدار بسيط وبالتالي يكون مقدار الطاقة الذي يجب أن يُعطى لتحقيق عملية الانعكاس أقل من المرة التي سبقته. وهكذا يعود الليزر ليعمل ضمن حالة التوازن .

ج 3 : (13 درجة)



لتحديد الشدة الكلية الناتجة عن التداخل يجب حساب فرق المسار بين هاتين النقطتين $r''_2 - r''_1$.

ومن الشكل نستنتج أن

$$r''_2 - r''_1 = \sqrt{x_2^2 + \ell^2} - \sqrt{x_1^2 + \ell^2} = \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_2^2}{\ell^2}} - \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_1^2}{\ell^2}}$$

وفي الحالة التي يكون فيها ($\ell >> x_1, x_2$) تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

$$r''_2 - r''_1 \approx \ell\left(1 + \frac{x_2^2}{2\ell^2}\right) - \ell\left(1 + \frac{x_1^2}{2\ell^2}\right) \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2\ell} \approx \frac{(x_2 - x_1)(x_2 + x_1)}{2\ell}$$

8

ومن الشكل نستنتج أن: $\frac{x_2 - x_1}{2} = a$ والذي يمثل امتداد المنبع الضوئي وأن : $\frac{x_2 + x_1}{\ell} = 2\sin\theta$

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل : $r''_2 - r''_1 \approx 2a \cdot \sin\theta$

ومن أجل أن تتشكل شدة عظمى في النقطة p نتيجة لتداخل الأمواج الواردة من النقطتين L"1 و L"2 يجب أن يكون فرق المسار الذي تقطعه هذه الأمواج صغيراً" مقارنة بنصف طول الموجة λ/2. لذلك يمكن استنتاج قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظمية :

5

$$r''_2 - r''_1 \approx 2a \cdot \sin\theta << \frac{\lambda}{2} \Rightarrow a << \frac{\lambda}{4\sin\theta}$$

وفي الحالة التي تكون فيها θ صغيرة جداً" يمكن تبسيط العلاقة السابقة الى الشكل : $a << \frac{\lambda}{4 \cdot \theta}$

ج 4 : (20 درجة)

أ– تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانساً" لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات الأخرى مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.

A to Z

- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100 nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

10

ب–ليزرات الأبخرة المعدنية :

تصدر ليزرات الأبخرة المعدنية الممزوجة مع بعض الغازات أشعة ليزرية ذات أطوال موجية متعددة وتقع ضمن المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي . كما أن هناك عدداً من هذه الليزرات يعمل بشكل نبضي وباستطاعة عالية، بينما ليزرات الأبخرة المعدنية التي تعمل بشكل مستمر تتشابه مع ليزر الهليوم–نيون من جهة خصائص الاستطاعة.

تُستخدم ليزرات الأبخرة المعدنية في معالجة المواد ، الهولوغرافيا أو كمنبع ضوئي لإثارة الفلورة في الدراسات الطيفية وفي عملية الضخ الضوئي لليزرات الصباغية .إن الانتقالات الليزرية تحدث في هذا النوع من الليزرات بين السويات الإلكترونية في الذرات المعتدلة أو شوارد الأبخرة المعدنية.

تتم عملية إثارة ذرات الأبخرة المعدنية بطريقة الانفراغ الغازي إمّا بشكل إثارة مستمرة أو على شكل نبضات وذلك بعد إضافة غاز الهليوم الذي تشارك ذراته في عملية التصادمات لتحقيق عملية الانفراغ كما يلعب غاز الهليوم دوراً أساسياً في المحافظة على استمرارية الانفراغ الغازي . كما يجب أن يكون ضغط غاز الهليوم عالياً بشكل كاف ويجب أيضاً تسخين أنبوب الإنفراغ لتجنّب عملية تكاثف الأبخرة المعدنية على نوافذ بروستر.

10

ويمكن الحصول على الأبخرة المعدنية بالاعتماد على طريقتين :

- تبخير المعادن النقية وذلك بتسخينها حتى درجات حرارة عالية جداً.
- تفكك الروابط المعدنية التي تربط ذرات المعادن بغيرها من الذرات .

ويتم تحقيق حالة الانعكاس في إسكان سويات الطاقة لهذا النوع من الليزرات إمّا بطريقة التصادمات الإلكترونية المباشرة كما هو الحال في الذرات المعدنية المعتدلة، أو من خلال التصادمات من النوع الثاني غير المباشرة حيث تصطدم ذرات الأبخرة المعدنية مع ذرات غاز الهليوم المثارة مما يؤدي إلى تشرّد ذرات المعدن وإثارتها.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي ٢٠٢٢-٢٠٢٣

السؤال الأول (١٢ درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة.

السؤال الثاني (٢٥ درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي معامل التضخيم لليزر ثم استنتج علاقة نسبة التضخيم لأشعة الليزر وكذلك مساحة مقطع عملية الاصدار القسري.

السؤال الثالث (١٣ درجة)

أ- عرّف خاصية الترابط لأشعة الليزر، ثم وضّح الفرق بين الترابط الزماني والترابط المكاني.

ب- علّل تناقص طول ترابط أشعة الليزر الصادرة عن الذرات المتحركة بسرعات واتجاهات مختلفة.

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

أ- قارن بين ليزر النيوديميوم- زجاج و ليزر النيوديميوم- ياغ موضحاً نقاط التشابه ونقاط الاختلاف بينهما.

ب- عدد الطرق التي نحصل بوساطتها على حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة في ليزر ثاني أكسيد الكربون.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي ٢٠٢٢-٢٠٢٣

ج ١ : (١٢درجة)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي خارجي تعطى قوة تأثيره بالعلاقة : $F = e.E.\cos(\omega t + \varphi)$ (١)

وبالتالي سوف تنزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار x فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\frac{d_2X}{dt^2} + \omega_0^2.X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \quad (٢) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون: $X_h = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0)$ (٣)

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل: $X_p = B.\cos(\omega.t + \varphi)$ (٤)

نعوض العلاقة (٤) في العلاقة (٢) وبالاصلاح نجد أن : $-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m}$ (٥)

ومنه نجد أن : $B = -\frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$ (٦)

10

من شروط البدء في اللحظة $t = 0$ يكون لدينا الانزياح X_o : $X_0 = A_0.\sin(\omega_0.t + \varphi_0)$ (٧)

فيكون حل المعادلة (٢) هو عبارة عن مجموع حلين : $X_{(t)} = X_h + X_p$

أي أن : $X_{(t)} = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega.t + \varphi)$ (٨)

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : $e.E.\cos(\omega t+\varphi)$ فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة مقدارها: $U.dt = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).dX$ (٩)

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن : $U = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).\frac{dX}{dt}$ (١٠)

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (٨) وبعد التعويض نحصل على :

$$U = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0.t + \varphi_0).\cos(\omega.t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}\cdot\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}\cdot\sin(\omega.t + \varphi).\cos(\omega.t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي الصفر وعندما تكون التواترات قريبة جدا" من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل :

$$U = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2} \quad (١٢)$$

اذا" وفقا" لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة :

- اذا كانت: $\cos(\varphi_0 - \varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .
- اذا كانت: $\cos(\varphi_0 - \varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

2

A to Z

ج ٢ (٢٥ درجة)

أ- يمكن وصف الشعاع الضوئي بواسطة شدته التي تعطى بالعلاقة : $I_{(\upsilon)} = c \cdot \rho_{(\upsilon)}$

ان التغير الكلّي في شدة الأشعة الصادرة أو النافذة من المادة $I_{(\upsilon)}$ نتيجة تفاعل الشعاع الضوئي مع ذرات الوسط المتواجدة في المسافة Δz يحدث نتيجة مساهمة العمليات التالية:

عملية الامتصاص : $\Delta I_A = -N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار العفوي : $\Delta I_{spont} = N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار القسري : $\Delta I_{induced} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

وبالتالي فان التغيّر الكلي هو مجموع التغيّرات السابقة: $\Delta I_{(\upsilon)} = \Delta I_{hnduced} + \Delta I_A + \Delta I_{spont}$

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

نعوض قيمة $\rho_{(\upsilon)} = \frac{I_{(\upsilon)}}{c}$ فنحصل على :

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} + N_2 \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

وبما أن عملية الاصدار التلقائي تتم في كافة الأحوال لأنها لاتتعلق بالشدة $I_{(\upsilon)}$ وفي تقريب مقبول يمكن اهمال الحد الناتج عنها:

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

وبماأن : $B_{12} = B_{21}$ وأن : $N_2 - N_1 = \Delta N$ فإن: $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot B_{21} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

ومن المعلوم أن :

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \Rightarrow B_{21} = A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}$$

نعوض قيمة B_{21} في العلاقة السابقة فنجد أن : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}\right) \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{c^2}{8\pi \cdot \upsilon^2} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بدلالة طول الموجة λ لتأخذ الشكل : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

نرمز بـ $\gamma_{0(\upsilon)}$ للمقدار : $\gamma_{0(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)}$ ويدعى معامل التضخيم لليزر .

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{I_{(\upsilon)}} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot dz \Rightarrow \frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

A to Z

بمكاملة طرفي هذه العلاقة مع الأخذ بعين الاعتبار أن dz تتغير من القيمة 0 الى القيمة L التي تمثل أبعاد المادة التي طولها L فنجد أن :

$$I_{\upsilon(L)} = I_{\upsilon(0)} \cdot e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L} \qquad \Rightarrow G_{(\upsilon)} = \frac{I_{\upsilon(L)}}{I_{\upsilon(0)}} = e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L}$$

يسمى المقدار $G_{(\upsilon)}$: نسبة التضخيم لأشعة الليزر ،كما أن واحدة المقدار: $A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$ هي واحدة مساحة و تعرف باسم مساحة مقطع عملية الاصدار القسري:

$$\sigma_{SE(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$$

ج ٣ : (١٣ درجة)

أ-نقول عن موجتين كهرطيسيتين إنهما مترابطتان إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_2-δ_1 ثابتاًمع الزمن . أو الترابط يصف تابعية علاقة الطور للأمواج الضوئية المتداخلة مع بعضها البعض بالنسبة للزمان والمكان.

الترابط الزماني يتعلّق بالتوزّع الطيفي للمنبع الضوئي ويرتبط مباشرة مع زمن الترابط، بينما الترابط المكاني يصف التأثيرات التي تتعلّق بحجم المنبع الضوئي وبالتالي ارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع الضوئي مع بعضها البعض.

ب- لأن الترددات الوسطية لأشعة هذه الذرات مختلفة بدرجات متفاوتة بسبب التعرض الناتج عن مفعول دوبلر مما يؤدي إلى تعرض اضافي لترددات الأشعة وتكون النتيجة تناقصاً في طول الترابط لهذه الأشعة .

ج ٤ : (٢٠ درجة)

أ)- **ليزر نيوديميوم-زجاج** : يتألف الوسط الليزري الفعّال من شوارد النيوديميوم الثلاثية Nd^{3+} التي تتوضّع بتراكيز تتراوح بين ***(0,5 - 8%)*** في بلورة من الزجاج . ويصدر هذا الليزر أشعة طول موجتها ***1,062 µm*** أي ضمن مجال ماتحت الأحمر. كما يلائم بشكل جيد لتوليد نبضات ليزرية عالية الاستطاعة تستخدم في تفاعلات الاندماج النووية وكذلك يمكن توليد أشعة باستطاعة منخفضة في حالة الاستخدام كمنبع ضخ ضوئي في الليزرات الأخرى.وكبلورة مضيفة تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج منها زجاج السيليكات، زجاج الفوسفات وزجاج الباريوم وتتركز المميزات الايجابية للزجاج على خاصيتين هما :

- عملية التصنيع السهلة وذلك حتى من أجل الأبعاد والحجوم الكبيرة للبلورات.
- النوعية الجيدة والخصائص البصرية الملائمة التي تبديها الأنواع المختلفة للزجاج.

بينما تنحصر السلبيات في :

- الناقلية الحرارية الضعيفة مما يسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري الفعّال .
- مساهمة الزجاج في زيادة عرض الخطوط الطيفية للإصدار والامتصاص الناتج عن شوارد الوسط الليزري الفعّال بشكل غير متجانس.

ليزر النيوديميوم– ياغ : يعتبر ليزر النيوديميوم–ياغ من أهم ليزرات الجسم الصلب فهو يعطي استطاعات عالية عند العمل بشكل نبضي ، وكذلك يمكن أن يعمل بشكل مستمر وبمواصفات جيدة . أما الشوارد الليزرية الفعّالة هي شوارد النيوديميوم Nd^{3+} وهي نفسها كما في ليزر النيوديميوم–زجاج السابق لذلك تكون الانتقالات بين سويات الطاقة هي نفسها.وفي ليزر نيوديميوم–ياغ تتركب البلورة من $(Y_3Al_5O_{12})$. ويتراوح تركيز شوارد Nd^{3+} ضمن هذه البلورة بين (0,5 - 3,5 %) . أمّا المميزات الايجابية لبلورة الياغ:

- المتانة والثبات الميكانيكي الجيدين.
- القساوة العالية .
- الناقلية الحرارية الجيدة.

8

وكنتيجة للتجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ فإن هذا النوع من الليزرات يصدر أشعة ذات خصائص فيزيائية أفضل من التي تصدرها الليزرات التي تستخدم البلورات الزجاجية. ويستخدم ليزر النيوديميوم–ياغ للحصول على أشعة ليزرية مستمرة ذات استطاعات عالية ويصدر أشعة مستقطبة خطياً لذلك يلاقي هذا النوع من الليزرات استخدامات واسعة كمنبع ضوئي في التطبيقات ضمن مجال البصريات اللاخطية وكذلك المفاعيل اللاخطية .

ب– نحصل على حالة الانعكاس في ليزر ثاني أكسيد الكربون بوساطة الطرق التالية :

- التصادمات الإلكترونية في حالة الانفراغ الغازي أو إثارة جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بوساطة تيار من الإلكترونات الحرة .
- التصادمات بين جزيئة ثاني أكسيد الكربون والجزيئات الأخرى التي توجد معها ضمن المزيج الغازي مثل جزيئات غاز الآزوت N_2.
- طريقة الضخ الضوئي والتي تتم باستخدام منبع ضوئي.
- إثارة جزيئات ثاني أكسيد الكربون عبر التفاعلات الكيميائية .

4

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A to Z

سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر لطلاب السنة الرابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي ٢٠٢١ - ٢٠٢٢

جامعة ...
كلية العلوم

تع ١: (٧ علامات)

الإصدار التلقائي $\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} \cdot N_2$

الامتصاص $\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho(\upsilon)$

الإصدار القسري $\frac{dN_2^*}{dt} = -B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho(\upsilon)$

(10) $\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} + \frac{dN_2^*}{dt} \Rightarrow N_1 \cdot B_{12} \cdot \rho(\upsilon) = (A_{21} + B_{21} \cdot \rho(\upsilon)) N_2$

$\Rightarrow \rho(\upsilon) = \frac{A_{21} \cdot N_2}{B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2} = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} \cdot B_{12} - B_{21}} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \cdot e^{\frac{h\upsilon}{kT}} - 1} \right]$

بمقارنة هذه العلاقة مع ما نعرفه سابقاً نستنتج أن:

$B_{21} = B_{12} = B$

$\frac{A_{21}}{B_2} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3}$

تع ٢: (٨ علامات)

١) تعطى كثافة الفوتونات بالعلاقة:

$n = \rho(\upsilon) \cdot \frac{d\upsilon}{h\upsilon}$

الإصدار التلقائي $\frac{dN'}{dt} = A_{21} \cdot N_2$

الإصدار القسري $\frac{dN''}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho(\upsilon)$

الامتصاص $\frac{dN'''}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho(\upsilon)$

الخسارات ضمن الرنان $\frac{dN^*}{dt} = -\frac{n}{t_0}$

$\Rightarrow \frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho(\upsilon) - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho(\upsilon) - \frac{n}{t_0} + A_{21} \cdot N_2$

يمثل الحد الناتج عن الإصدار التلقائي لأنه مساهمته صغيرة مقارنة بالعوامل الأخرى.

(15) $\Rightarrow \frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho(\upsilon) - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho(\upsilon) - \frac{n}{t_0}$

+ التعويض عن $\rho(\upsilon)$ نجد $\Leftarrow$

$\frac{dn}{dt} = \left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0} \right] \cdot n$

من حيث التضخيم يجب أن يكون $\frac{dn}{dt} > 0 \Leftarrow$

$\frac{dn}{dt} > 0 \Rightarrow \left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0} \right] n > 0$

A to Z

$$\Rightarrow N_2 - N_1 > \frac{dU}{B \cdot h\upsilon \cdot t_0}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3} \Rightarrow \frac{1}{B} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3 \cdot A}$$

$$\Rightarrow N_2 - N_1 > \frac{8\pi \cdot \upsilon^2}{c^3 \cdot A \cdot t_0} \cdot dU$$; وهي العلاقة التي تعبر عن شرط العتبة

• لأنه بازدياد قيم υ سوف يؤدي إلى قيم كبيرة لطاقة الإنطلاق في انبعاث سويات الطاقة لأنه بالإزدياد الكبير في عملية الإضاءة التلقائي مقارنة بالإضاءة القسري لذلك

(3) $A \sim B \cdot \upsilon^3$

ج) الضخ الكيميائي: تعتبر طريقة من طرق الضخ التي تستخدم في بعض أنواع الليزرات حيث يستفاد من طاقة التفاعلات الكيميائية الناتجة في إثارة سويات الطاقة لإحدى الذرات أو الجزيئات المشاركة في التفاعل. ومن العمليات التي تحدث في هذا النوع من عمليات الضخ:

• تفاعلات التفكك الضوئي حيث تتفكك بعض الجزيئات:

$$AB + h\upsilon \longrightarrow A^* + B$$

• تفاعلات التبادل الحرارية: حيث تتبادل الذرات موقعها ضمن الجزيئات وينتج عن ذلك تحول طاقة الإرتباط لإثارة أحد العناصر:

(4) $$A + BC \longrightarrow AB^* + C$$

• تفاعلات الاتحاد بين ذرات مختلفة:

$$A + B + M \longrightarrow AB^* + M$$

ويتم تحفيز التفاعلات المختلفة بوساطة اللهب أو الحرارة أو بوساطة الصابيح الضوئية، والأنواع الأخرى لطرق الضخ: الضخ الضوئي (بوساطة موجة كهرطيسية)، والضخ بوساطة التصادمات (الانفراغ الكهربائي)، والضخ الكهربائي (بوساطة مولد تيار كهربائي)

ج٣: (١٥ درجة)

$$\overrightarrow{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right]$$

$$\overrightarrow{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

شدة الطاقة الناتجة عن التداخل:

$$J = \frac{1}{2Z}\overline{(E_1 + E_2)^2}$$

$$J = \frac{1}{2Z}\left[A_1^2 + A_1^2 \cdot \overline{\cos 4\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right)} + A_2^2 + A_2^2 \cdot \overline{\cos 4\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right)}\right.$$

$$\left. + 2A_1A_2 \cdot \overline{\cos 2\pi\left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1\right)} + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \overline{\cos 2\pi\left(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1\right)}\right]$$

• القيم الوسطية للتوابع الجيبية تساوي الصفر (بالنسبة للزمن) وذلك خلال دور واحد وبالتالي:

(10) $$J = \frac{1}{2Z}\left[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi\left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1\right)\right]$$

إذا اعتبرنا أن:

$$\left.\begin{aligned} J_1 &= \frac{1}{2Z}A_1^2 \\ J_2 &= \frac{1}{2Z}A_2^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi\left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1\right)$$

يعني الحد: $2\sqrt{I_1 I_2}\cos 2\pi\left(\frac{r_2-r_1}{\lambda}+\delta_2-\delta_1\right)$ (2) حد التداخل

نقول عن موجتين كرويتين إنهما متراطبتان إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_1 و δ_2 ثابتاً على الزمن أي أن: $\delta_2-\delta_1=\text{const}$ (3).

ج ٤: (١٠ درجات)

١) تتميز الليزرات الغازية عن الأنواع الأخرى من الليزرات بما يلي:

١- استخدام الغازات كوسط ليزري فعال يكون أكثر تجانساً لتفوق ذرات الغاز.

٢- يكون التبادل الحراري أفضل في الغازات أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل. (10)

٣- طول الوسط الليزري الفعال يكون أكبر في الليزرات الغازية بسبب الضغوط المنخفضة للغازات.

٤- يمكن الحصول من الليزرات الغازية على ترددات أكثر دقة ونقاوة في طول الموجة واستقرار عمل الليزر.

٥- إمكانية الحصول على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من فوق البنفسجي حتى الأشعة الميكروية.

ب) كلمة إكسيمر ناتجة عن دمج كلمتين هما Dimer و Excited وتعني ذرتين مرتبطتين مع بعضهما البعض وموجودتين في الحالة المثارة، وأهم ليزرات الإكسيمر هي ليزرات هالوجينات الغازات النادرة. وتعطي استطاعات عالية وتعمل في المجال فوق البنفسجي وتعمل بشكل نبضي وتستخدم في الطباعة الحجرية وكذلك في صناعة الليزرات الصباغية وكذلك في تفاعلات الاندماج النووي.

إصدار الأشعة الليزرية ينتج عن انتقال الإلكترونات من الحالة المثارة المرتبطة مع ذرة الإكسيمر.

وعملية إثارة ليزر KrF^* باستخدام الأشعة الإلكترونية: (10)

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^{**} + 2e^-$$
$$e^- + F_2 \rightarrow F + F^-$$
$$F^- + Kr^{**} + M \rightarrow KrF^* + M$$

وعند استخدام طريقة الإنقاع الكهربائي:

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^* + e^-$$
$$Kr^* + F_2 \rightarrow KrF^* + F$$

ومن أجل الحصول على ردود عالٍ في تشكل الإكسيمر يتطلب ذلك أن يكون ضغط الغاز كبيراً.

مدرس المقرر
د. مالك يونس

Ato Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي ٢٠٢١-٢٠٢٢

السؤال الأول (٢٠درجة)

١)- اذا علمت أنّ معادلات النسبة لليزر رباعي السويات هي :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p (n_{tot} - n)$$

$$\frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

والمطلوب: استنتج الحلول المستقلة عن الزمن والتي تعبّر عن حالة العمل المستقر لليزر ثم ارسم الخط البياني الذي يمثّل تغيّر كثافة الفوتونات P كتابع لنسبة الضخ W_p.

٢)- اشرح ظاهرة التوالد النتوني (Spiking) والتي تلاحظ في ليزرات الجسم الصلب.

السؤال الثاني (١٥ درجة)

علّل ما يلي:

١) صعوبة الحصول على أشعة ليزرية ذات ترددات كبيرة.
٢) استخدام الغرانيت أوأكسيد البيريليوم لصناعة أنبوب الإنفراغ في ليزرات شوارد الغازات المثالية.
٣) إمكانية وصول المردود الكوانتي في ليزر أحادي أكسيد الكربون إلى نسبة 100%.
٤) إضافة جزيئات من غازات مثل (H_2 , H_2O) في ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون.
٥) طول ترابط الأشعة الصادرة من ليزرات الجسم الصلب يكون قصيراً مقارنة مع الليزرات الغازية.

السؤال الثالث (١٥ درجة)

١) استنتج العلاقة بين طول ترابط أشعة الليزر ℓ وتعرّض الخط الطيفي الليزري $\Delta\upsilon$.
٢) ما هو الفرق بين الترابط الزماني والترابط المكاني.

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

تحدث عن الأسس الفيزيائية لليزرات الجسم الصلب من حيث الوسط الليزري الفعّال وعملية الضخ، ثم اشرح خصائص ومبدأ عمل ليزر النيوديميوم-زجاج.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

A to Z

ج 1 : (20 درجة)

1) حالة العملَ المستقّر لليزر وفي حالة التوازن التي يعبّر عنها بالمعادلات: (1) $\frac{dn}{dt}=0 \quad , \quad \frac{dp}{dt}=0$

وبالتعويض نجد أن: $\frac{dn}{dt}=-\sigma\cdot c\cdot p\cdot n-\Gamma\cdot n+W_p\cdot(n_{tot}-n)=0$ (2)

6 $n=\frac{W_p\cdot n_{tot}}{\sigma\cdot c\cdot p+\Gamma+W_p}$ (3)

طالما الليزر يعمل تحت قيمة عتبة فلا يتشكّل أي حقل فوتونات أي أن ($p=0$) ومن أجل نسبة ضخ صغيرة جداً" ($W_p<<\Gamma$) عندها تعطى قيمة الانعكاس بالعلاقة: $n=\frac{W_p\cdot n_{tot}}{\Gamma}$ (4)

وكثافة الفوتونات تصبح بعد أخذ العلاقة (1) بعين الاعتبار: $\frac{dp}{dt}=p\left(\sigma\cdot c\cdot n-\frac{1}{\tau_{ph}}\right)=0$ (5)

وفي الحالة التي تكون فيها قيمة الانعكاس عند قيمة العتبة معروفة وذلك في حالة الليزر المستقر يمكن انطلاقاً" من ذلك استنتاج العلاقة التي تعطي كثافة الفوتونات p ، فمن أجل ذلك نعوض $n=n_{th}$ في العلاقة (3) وبعد الاصلاح نحصل على العلاقة التالية:

$$p=\tau_{ph}\left[W_p(n_{tot}-n_{th})-\Gamma\cdot n_{th}\right]$$

8 $$p=\tau_{ph}\left[(n_{tot}-n_{th})\left(W_p-\frac{\Gamma\cdot n_{th}}{n_{tot}-n_{th}}\right)\right]$$ (6)

واذا عرّفنا نسبة الضخ عند العتبة بالعلاقة: $W_{th}=\frac{\Gamma\cdot n_{th}}{n_{tot}-n_{th}}$ (7)

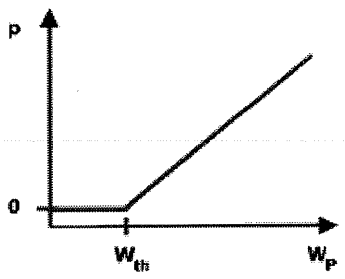
في هذه الحالة يمكن كتابة العلاقة (6) بدلالة W_{th} لتصبح: $p=\tau_{ph}(n_{tot}-n_{th})(W_p-W_{th})$ (8)

وفي حالة الليزر رباعي السويات لدينا بشكل عام ($n_{tot}>>n_{th}$) أي أنه يمكننا اهمال قيمة n_{th} بالمقارنة مع قيمة n_{tot} في العلاقة (7) لتأخذ الشكل: $W_{th}=\frac{\Gamma\cdot n_{th}}{n_{tot}}$ (9)

كما أن علاقة كثافة الفوتونات (8) تأخذ الشكل : $p=\tau_{ph}\cdot n_{tot}\cdot(W_p-W_{th})$ (10)

ومن أجل ($W_p<W_{th}$) تكون كثافة معدومة أي أن : $p=0$ وذلك موضّح بالشكل التالي.

2



A to Z

2)- **ظاهرة التوالد النتوئي:**

عند بدء عملية الضخ $(t=0)$ لايوجد عملياً أية فوتونات ضمن المرنان مادامت طاقة الضخ لم تبلغ قيمة طاقة ضخ العتبة ، وبالتالي يبدأ حقل الفوتونات بالتشكّل ضمن المرنان عندما تصل قيمة انعكاس إسكان سويات الطاقة إلى قيمة العتبة . ولكن بسبب الفترة الزمنية التي تحتاجها الفوتونات لاتمام دورة كاملة ضمن المرنان يمكن لكثافة الفوتونات أن تصل إلى حالة التوازن خلال هذه الفترة الزمنية. ومن جهة أخرى تزداد أيضاً عملية الانعكاس بشكل خطي متزايد مع الزمن حتى تتجاوز قيمة الانعكاس عند العتبة والتي تؤثر بدورها في ازدياد كثافة الفوتونات لتؤدي بالنهاية إلى انطلاق الليزر. ولكن بما أن الإصدار القسري الناتج عن عمل الليزر سوف يؤدي إلى انخفاض في انعكاس إسكان سويات الطاقة بشكل سريع ليصل إلى قيمة أدنى من قيمة العتبة مما يسبب في تعطيل حقل الإشعاع ضمن المرنان أي إلى تناقص في شدة الأشعة الليزرية وهذا يؤدي بدوره إلى توقف الليزر عن العمل حتى تقوم عملية الضخ بإثارة الذرات من جديد للوصول إلى حالة انعكاس في إسكان سويات الطاقة ومن ثم لتبدأ أشعة الليزر بالازدياد من جديد وهكذا تعود العملية لتبدأ من جديد ولكن يتواجد الليزر في هذه الحالة تحت العتبة بمقدار بسيط وبالتالي يكون مقدار الطاقة الذي يجب أن يُعطى لتحقيق عملية الانعكاس أقل من المرة التي سبقته. وهكذا يعود الليزر ليعمل ضمن حالة التوازن.

4

ج 2 (15 درجة)

1) – لأن احتمال الانتقال للاصدار القسري يتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد $\left(B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3}\right)$. أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة جداً.

3

2) لأنها ذات ناقلية حرارية كبيرة من أجل عملية التوزيع الحراري السريع الى خارج الأنبوب، ومقاومتها للصدم كبيرة لتجنّب تلف جدران الأنبوب الداخلية نتيجة للتصادمات التي تسببها شوارد الغاز.

3

3) لأن آلية تحويل الطاقة الاهتزازية إلى طاقة انتقالية أو طاقة حرارية ضمن جزيئة أحادي أكسيد الكربون يكون بطيئاً جداً.

3

4) لأنها تقوم بدور المرجع الكيميائي وتمنع حدوث عملية تفكك جزيئة غاز ثاني أكسيد الكربون.

3

5) –لأن الأشعة الليزرية الناتجة عن ليزرات الجسم الصلب تتميز بخطوط طيفية ذات عرض كبير نسبياً.

3

ج 3 : (15 درجة)

1)–نعبّر عن التوزّع الطيفي بدلالة التردد υ بدلاً من طول الموجة λ فاننا نحصل على العلاقة التالية بينهما:

$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_0} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow \Delta\upsilon \approx \upsilon_0 \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \qquad (*)$$

A to Z

اذا كانت δ_1 و δ_2 تملك قيما" متساوية فاننا نحصل على شدة عظمى من أجل λ_0 عندما يكون: $\frac{r_2-r_1}{\lambda_0}=n$

بينما من أجل طول الموجة λ_1 تكون شدة التداخل صغرى وهذا يتحقق عندما يكون: $\frac{r_2-r_1}{\lambda_1}=\frac{2n+1}{2}$

إن التمايز في شدات التداخل بين عظمى وصغرى من أجل λ_0 و λ_1 يتوافق تماما" مع تعريف طول الترابط ℓ

وبالتالي انطلاقا" من العلاقتين السابقتين نحصل على : $\ell=r_2-r_1=\frac{1}{2\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_0}\right)}=\frac{\lambda_1\cdot\lambda_0}{2(\lambda_0-\lambda_1)}$

9

واذا أخذنا التقريب التالي بعين الإعتبار: $\lambda_0-\lambda_1=\frac{\Delta\lambda}{2}$

وعندما تكون $\Delta\lambda$ صغيرة جدا" يمكن أن نعتبر $\lambda_0\approx\lambda_1$ وبالتالي تصبح علاقة ℓ بالشكل: $\ell\approx\frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$

$$\tau=\frac{\ell}{c}=\frac{1}{c}\cdot\frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

وبمقارنة هذه العلاقة مع العلاقة (*) نحصل على: $\tau=\frac{1}{\Delta\upsilon}$

وبالتالي نستنتج أن: $\ell=\frac{c}{\Delta\upsilon}$

أي أن طول الترابط لأشعة صادرة عن منبع ضوئي يزداد كلما تناقص التعرّض الطيفي $\Delta\upsilon$ لهذه الأشعة.

2)–الترابط الزماني يتعلّق بالتوزّع الطيفي للمنبع الضوئي ويرتبط مباشرة مع زمن الترابط، بينما الترابط المكاني يصف التأثيرات التي تتعلّق بحجم المنبع الضوئي وبالتالي ارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع الضوئي مع بعضها البعض.

6

ج 4 : (20 درجة)

الوسط الليزري الفعّال: يتكون من شوارد مختلفة تتوضّع بتراكيز محددة ضمن بلورة مضيفة من الزجاج أو من بلورات ذات تراكيب مختلفة . ويمكن توليد أشعة ليزرية ضمن مجال طيفي واسع من ليزرات الجسم الصلب باستخدام عدد كبير جداً من الشوارد التي يتم الحصول عليها من : المعادن، المعادن الانتقالية ومن المعادن النادرة.

وتتميز هذه الشوارد بعصابة امتصاص طيفية عريضة لأشعة الضخ.

كما أن الليزرات التي تعتمد على هذه الشوارد تصدر أشعة الليزر على شكل خطوط طيفية متعددة وذات أطوال موجية مختلفة ويتحدد ذلك من خلال :

10

–الشاردة الفعّالة التي تقوم بالفعل الليزري.

–نوعية البلورة المضيفة التي تحتوي على شوارد الوسط الفعّال .

عملية الضخ: تتم عملية الضخ بشكل مباشر بوساطة الأشعة الكهرطيسية. وكانتقالات مترافقة بإصدار أشعة ليزرية تفضّل تلك الانتقالات التي تعطي شدات أشعة طيفية عالية في طيف الفلورة لشوارد الوسط الفعّال ، ويمكن تصنيف هذه الانتقالات على الشكل التالي:

A to Z

– **الانتقالات الأساسية:** وهي الانتقالات التي تحدث بين مركبات السويات المتعددة.

– **الانتقالات المتسلسلة أو الشلالية:** وهذه الانتقالات تحدث بين سويات شبه مستقرّة متتالية.

– **الانتقالات من النوع إلكترون–فونون** : تحدث نتيجة لإثارة اهتزازات الشبكة البلورية .

و يتم توليد أشعة الضخ باستخدام مصابيح ذات أشكال متعددة وغازات مختلفة (الزينون ، الكريبتون ، مصابيح زئبقية ذات ضغط عالٍ ، مصابيح هالوجينية). أو بوساطة ليزرات أخرى.

و يجب أن يكون القسم الأكبر من الأشعة التي تصدرها هذه المصابيح واقعاً ضمن المجال الطيفي لخطوط امتصاص الوسط الليزري الفعّال.

ليزر نيوديميوم–زجاج : يتألف الوسط الليزري الفعّال من شوارد النيوديميوم الثلاثية Nd^{3+} التي تتوضّع بتراكيز تتراوح بين ***(0,5 - 8%)*** في بلورة من الزجاج . ويصدر هذا الليزر أشعة طول موجتها ***1,062 µm*** أي ضمن مجال ماتحت الأحمر. كما يلائم بشكل جيد لتوليد نبضات ليزرية عالية الاستطاعة تستخدم في تفاعلات الاندماج النووية وكذلك يمكن توليد أشعة باستطاعة منخفضة في حالة الاستخدام كمنبع ضخ ضوئي في الليزرات الأخرى.وكبلورة مضيفة تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج منها زجاج السيليكات، زجاج الفوسفات وزجاج الباريوم وتتركز المميزات الايجابية للزجاج على خاصيتين هما :

- عملية التصنيع السهلة وذلك حتى من أجل الأبعاد والحجوم الكبيرة للبلورات.
- النوعية الجيدة والخصائص البصرية الملائمة التي تبديها الأنواع المختلفة للزجاج.

بينما تنحصر السلبيات في :

- الناقلية الحرارية الضعيفة مما يسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري الفعّال .
- مساهمة الزجاج في زيادة عرض الخطوط الطيفية للإصدار والامتصاص الناتج عن شوارد الوسط الليزري الفعّال بشكل غير متجانس.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

10

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي ٢٠٢١-٢٠٢٢

مكتبة A to Z

السؤال الأول (١٥درجات)

عرف مايلي :
١) طاقة الخرج الليزرية - ٢)ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) - ٣) حالة الترابط - ٤) الترابط المكاني- ٥)حجم الضخ .

السؤال الثاني (٢٥ درجة)

أ- استنتج معادلات النسبة عند حالة التوازن في الليزر رباعي السويات والتي تعبر عن التغير في اسكان سويات الطاقة **n** وكذلك التغير في كثافة الفوتونات **p** في واحدة الحجم.

ب- تحدّث عن عملية الضخ بوساطة التصادمات ، وعدِّد عمليات الضخ الأخرى المستخدمة في الليزرات المختلفة.

السؤال الثالث (١٠ درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظم ما يمكن .

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

تحدّث عن الليزرات الغازية التي تعمل في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي، ثم تحدّث بالتفصيل عن ليزر غاز الهليوم- نيون (He-Ne-Laser).

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي 2021-2022

ج 1 : (15درجة)

1) طاقة الخرج الليزرية هي عبارة عن الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان في واحدة الزمن. (3)

2) ظاهرة التوالد النتوئي هي حالة الانزياحات الكبيرة عن وضع التوازن حيث ينتج اهتزازات لاتوافقية غير متخامدة لطاقة الخرج الليزرية على شكل قمم كبيرة أو تظهر على شكل قمم متعاقبة. (3)

3) نقول عن موجتين كهرطيسيتين إنهما مترابطتان إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين $\delta_2-\delta_1$ ثابتاً مع الزمن . أو الترابط يصف تابعية علاقة الطور للأمواج الضوئية المتداخلة مع بعضها البعض بالنسبة للزمان والمكان. (3)

4) الترابط المكاني يصف التأثيرات التي تتعلّق بحجم المنبع الضوئي وبالتالي ارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع الضوئي مع بعضها البعض. (3)

5) حجم الضخ هو الحجم من مادة الوسط الليزري الفعّال الذي يتعرض لتأثير حقل الإشعاع الخارجي أثناء عملية الضخ. (3)

ج 2 (25 درجة)

أ-: إذا اعتبرنا أن n_{tot} هو عدد الالكترونات الكلّي التي تتواجد في السويات الأربعة في ليزر رباعي السويات وهذا العدد ذو قيمة ثابتة ويعطى بالعلاقة :

$$n_{tot} = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 = const \quad (1)$$

$$\Rightarrow \frac{dn_{tot}}{dt} = 0 \quad (2)$$

وبما أن عمر الحالة المثارة للسويتين E_3 وE_1 صغيراً" بالمقارنة مع السويات الأخرى لذلك يمكن اعتبارها خالية من الالكترونات أي ($N_3 = N_1 \approx 0$) وبالتالي تصبح المعادلة (1) بالشكل : $n_{tot} \approx N_0 + N_2$ (3)

وفي حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة يكون لدينا : $n = N_2 - N_1 \approx N_2$ (4)

وذلك لأن $N_1 \approx 0$ فمن ذلك يمكننا أن نستنتج أن : $\frac{dn}{dt} = \frac{dN_2}{dt}$ (5)

كما أن عدد الالكترونات في هذه السوية E_2 يتغير وفقاً" لعدة عمليات مختلفة منها : (12)

-عملية الضخ الضوئي (الامتصاص): $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{pump} = \eta \cdot W_{03} \cdot N_0 = W_p \cdot N_0$ (6)

-الاصدار العفوي: $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spont} = -\Gamma \cdot N_2$ (7)

-الاصدار القسري: $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1)$ (8)

مكتبة أ٠٦٠٧

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n \qquad (9)$$

وبما أن : $n = N_2 - N_1$ نجد أن :

وبشكل عام يكون التغيّر بالنسبة للزمن لعدد الالكترونات في السوية E_2 هو عبارة عن مجموع كافة التغيّرات السابقة أي أن :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot N_2 + W_p \cdot N_0 \qquad (10)$$

وبمقارنة العلاقة (10) مع العلاقة (5) وبتعويض قيمة N_0 من العلاقة (3) وأن ($n \approx N_2$) نجد أن :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p \cdot (n_{tot} - n) \qquad (11)$$

أما تغيّر كثافة الفوتونات الناتجة عن الانتقالات القسرية بالنسبة للزمن :

- التغير الناتج عن عملية الاصدار القسري: $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stimu} = \left(-\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1)$

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stimu} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n \qquad (12)$$

-التغيّر الناتج عن الخسارة ضمن المرنان:

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{loss} = -\frac{p}{\tau_{ph}} \qquad (13)$$

حيث يعبّر τ_{ph} عن زمن التخامد في كثافة الفوتونات الناتجة عن الخسارة ضمن المرنان .

و يكون التغيّر الكلّي هو:

$$\frac{dp}{dt} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{p}{\tau_{ph}} \Rightarrow \frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right) \qquad (14)$$

ب- تعتمد هذه الطريقة في إثارة سويات الطاقة للذرات أو الجزيئات بوساطة عمليات تبادل للطاقة غير مشعة. وتحدث هذه العمليات عندما تكون المواد في حالتها الغازية وذلك نتيجة التصادمات بين ذرات الغاز، ويمكن التمييز بين نوعين من التصادمات : تصادمات مرنة و تصادمات لامرنة .

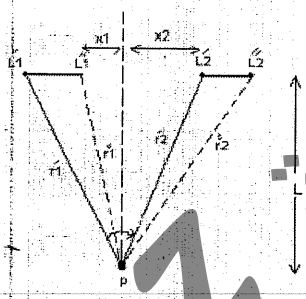
ويمكن الاستفادة من التصادمات المرنة حيث تصطدم الإلكترونات المسرّعة أو الشوارد الكهربائية مع الذرات أو الجزيئات الغازية ويترافق ذلك بانتقال الطاقة الحركية لهذه الإلكترونات إلى طاقة داخلية في الذرات والجزيئات وتؤدي إلى نقلها إلى سويات مثارة . وتترافق التصادمات اللامرنة بعملية انتقال طاقة بين الجسيمات المتصادمة مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية لأن جزءاً من طاقة الإثارة يتحول إلى طاقة حركية .

و تتم عملية التصادمات إمّا بطريقة الانفراغ الذاتي حيث تتولّد الشحنات الكهربائية ذاتياً خلال عملية الانفراغ أو بطريقة الانفراغ غير الذاتي حيث تتولّد الشحنات تحت تأثيرات خارجية مثل القذف بالإلكترونات المسرَّعة .

كما يمكن أن تكون التصادمات بين ذرات من نفس النوع وبالتالي فإن إثارة هذه الذرات يكون عبر تصادمها مع الإلكترونات المسرّعة . أو تصادمات بين نوعين مختلفين من الذرات بحيث تكون إحداهما في الحالة المثارة بينما الأخرى في الحالة الأساسية وبعد التصادم يحدث انتقال للطاقة بينهما فتصبح الذرة المثارة في حالتها الأساسية والذرة الأخرى تصبح في حالتها المثارة. أمّا عمليات الضخ الأخرى هي:

- الضخ الضوئي (الضخ بواسطة موجة كهرطيسية)
- الضخ بواسطة الكيميائي (الضخ بواسطة التفاعلات الكيميائية)
- الضخ الكهربائي (الضخ بواسطة مرور تيار كهربائي)

ج 3 : (10 درجات)



مكتبة A to Z

لتحديد الشدة الكلية الناتجة عن التداخل يجب حساب فرق المسار بين هاتين النقطتين $r''_2 - r''_1$.

ومن الشكل نستنتج أن

$$r_2'' - r_1'' = \sqrt{x_2^2 + \ell^2} - \sqrt{x_1^2 + \ell^2} = \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_2^2}{\ell^2}} - \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_1^2}{\ell^2}}$$

وفي الحالة التي يكون فيها ($\ell >> x_1 , x_2$) تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

$$r_2'' - r_1'' \approx \ell\left(1 + \frac{x_2^2}{2\ell^2}\right) - \ell\left(1 + \frac{x_1^2}{2\ell^2}\right) \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2\ell} \approx \frac{(x_2 - x_1)(x_2 + x_1)}{2\ell}$$

ومن الشكل نستنتج أن: $\frac{x_2 - x_1}{2} = a$ والذي يمثل امتداد المنبع الضوئي وأن : $\frac{x_2 + x_1}{\ell} = 2\sin\theta$

10

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل : $r_2'' - r_1'' \approx 2a \cdot \sin\theta$

ومن أجل أن تتشكل شدة عظمى في النقطة p نتيجة لتداخل الأمواج الواردة من النقطتين L"1 و L"2 يجب أن يكون فرق المسار الذي تقطعه هذه الأمواج صغيراً" مقارنة بنصف طول الموجة λ/2. لذلك يمكن استنتاج قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظمية :

$$r_2'' - r_1'' \approx 2a \cdot \sin\theta << \frac{\lambda}{2} \Rightarrow a << \frac{\lambda}{4\sin\theta}$$

وفي الحالة التي تكون فيها θ صغيرة جداً" يمكن تبسيط العلاقة السابقة الى الشكل : $a << \frac{\lambda}{4 \cdot \theta}$

ج 4 : (20 درجة)

يمكن توليد أشعة ليزرية في المجال المرئي عند استخدام عددٍ من الغازات المختلفة كوسط ليزري فعّال. ومن أهم الليزرات الغازية التي تصدر أشعة ليزرية مرئية :

- ليزر هليوم– نيون .
- الليزرات التي تستخدم فيها شوارد الغازات المثالية كوسط ليزري فعّال.
- ليزرات الأبخرة المعدنية.

6

وتتميز هذه الليزرات باستقرار وثبات عاليين في التردد ، وكذلك بالحصول على استطاعات عالية في حالة عمل الليزر بشكل مستمر كما هو الحال في ليزرات شوارد الغازات المثالية.

والانتقالات التي تحدث في الوسط الليزري الفعّال لهذه الليزرات هي عبارة عن انتقالات إلكترونية تحدث في الذرات المعتدلة أو في شوارد الذرات أو في الجزيئات المعتدلة.

ليزر الهليوم–نيون (He-Ne Laser) :

إن ليزر الهليوم–نيون هو عبارة عن ليزر يعمل بشكل مستمر في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي وكذلك يمكن أن يعمل أيضا"في مجال ما تحت الأحمر. ويتميز هذا الليزر بأنه يعطي إستطاعات خرج صغيرة من مرتبة الميلي واط، كما أن تصميم هذه الليزرات بسيط وذات كلفة مادية قليلة. كما يعتبر ليزر الهليوم–نيون من أكثر الليزرات استخداما" وخاصة عند طول الموجة الذي يقع في المجال المرئي $\lambda = 632,8\ nm$ أي ذو لون أحمر والذي تتميز أشعته بكثافة عالية واتجاهية دقيقة مما يسمح باستخدامه في مجالات توليف ومعايرة الأنظمة البصرية والميكانيكية وكذلك في أجهزة التحكّم والسيطرة.

14

وللحصول على حالة انعكاس اسكان سويات الطاقة تستخدم طريقة الانفراغ الكهربائي حيث تتم إثارة الكترونات ذرة النيون الى السويات الليزرية العليا بواسطة التصادمات اللامرنة بين ذرات النيون وذرات الهليوم شبه المستقرة والتي تكون في الحالة المثارة نتيجة تصادمها المباشر مع الالكترونات.وتتم عملية تفريغ السويات الليزرية السفلى بواسطة الإصدار العفوي ، كما تساهم عملية تصادم الذرات المثارة مع الجدران الداخلية للأنبوب الحاوي على الغاز في تفريغ هذه السويات .

ليزر الهليوم–نيون يعتبر أحد الليزرات الغازية التقليدية والذي يتميز بطول ترابط كبير لأشعته . كما يتميز هذا الليزر بثبات واستقرار في التردد تعطيه أهمية كبيرة للاستخدام في مجالات مختلفة مثل أداة ضبط وتحكّم في تقنيات قياس الأطوال ، قياس السرعات ، قياس نعومة السطوح المستوية ، التصوير الهولوغرافي.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي ٢٠٢٠-٢٠٢١

السؤال الأول (١٢ درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة ، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة .

السؤال الثاني (٢٥ درجة)

استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لطاقة الضخ Pp وطاقة ضخ العتبة Pth ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي ، ثم ارسم بيانيا" تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

السؤال الثالث (١٣ درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الشدة الكلية لموجة كهرطيسية ناتجة عن عملية تداخل بين موجتين كهرطيسيتين ثمّ استنتج حد التداخل ثم اشرح حالة الترابط .

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

أ- ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع ليزرات الجسم الصلب.

ب- اشرح مبدأ عمل ليزر - الإكسيمر مع كتابة مخطط إثارة ليزر فلوريد الكريبتون KrF^* عند استخدام الأشعة الإلكترونية وكذلك طريقة الإنفراغ الكهربائي .

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس

كلية العلوم سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته– السنة الرابعة فيزياء

الدورة التكميلية للعام الدراسي 2020-2021

==========

ج 1 : (12 درجة)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي

تعطى قوة تأثيره بالعلاقة : $F = e.E.\cos(\omega t + \varphi)$ (1)

وبالتالي سوف تنزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار X فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\ddot{X} + \omega_0^2 X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \quad (2) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون: $X_0 = A.\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ (3)

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل: $X_p = B.\cos(\omega t + \varphi)$ (4)

نعوض العلاقة (4) في العلاقة (2) وبالاصلاح نجد أن : $-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m}$ (5)

ومنه نجد أن : $B = -\frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$ (6)

من شروط البدء في اللحظة $t = 0$ يكون لدينا الانزياح X_0 : $X_0 = A_0.\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ (7)

فيكون حل المعادلة (2) هو عبارة عن مجموع حلين : $X_{(t)} = X_0 + X_p$

أي أن : $X_{(t)} = A.\sin(\omega_0 t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega t + \varphi)$ (8)

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : $e.E.\cos(\omega t+\varphi)$ فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة

$F.dt = e.E.\cos(\omega t + \varphi).dX$ (9)

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن : $P = e.E.\cos(\omega t + \varphi).\frac{dX}{dt}$ (10)

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (8) وبعد التعويض نحصل على :

$$P = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0 t + \varphi_0).\cos(\omega t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}\cdot\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}\cdot\sin(\omega t + \varphi).\cos(\omega t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي

وعندما تكون التواترات قريبة جدا" من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل :

$$P = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2} \quad (12)$$

اذا" وفقا" لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة :

- اذا كانت: $\cos(\varphi_o-\varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .
- اذا كانت: $\cos(\varphi_o-\varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

ج-2/(25 درجة)

يمكن وصف الطاقة E المختزنة ضمن المرنان بالعلاقة : $E = p \cdot V \cdot \Delta E_{21} = p \cdot V \cdot h\upsilon_{21}$

وطاقة الخرج الليزرية هي الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان أي: $P_A = \frac{E \cdot T}{\tau_R}$

حيث: T هي عبارة عن نفوذية مرآة المرنان و τ_R الزمن الذي تستغرقه الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن

وبتعويض E بقيمتها فنجد أن : $P_A = \frac{p \cdot V \cdot \Delta E_{21} \cdot T}{\tau_R}$

واذا عوضنا عن p بقيمتها نجد أن : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot T \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{\tau_{ph}}{\tau_R}$

والمقدار $(\frac{\tau_{ph}}{\tau_R})$ يمثل قيمة التخامد في الفوتونات خلال دورة واحدة ويعطى بالعلاقة: $\frac{\tau_{ph}}{\tau_R} = \frac{1}{T+L}$

حيث L تمثل مجموع الخسارات وبالتعويض في p_A نحصل : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{T}{T+L}$

ومن أجل تحقيق نسبة الضخ W_p يجب اعطاء طاقة للوسط الليزري الفعّال وهذه الطاقة تناسب مع الالكترونات في الحجم الكلّي للوسط الليزري الفعّال وبفرق الطاقة ΔE_{30} وكذلك مع احتمال الانتقال

ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة: $P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot W_{03}$

وانطلاقاً من تعريف مردود عملية الضخ الضوئي نجد أن : $\eta = \frac{W_p}{W_{03}} \Rightarrow W_{03} = \frac{W_p}{\eta}$

بالتعويض: $P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_p}{\eta}$

وبطريقة مشابهة نستنتج طاقة الضخ عند العتبة P_{th} حيث : $P_{th} = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_{th}}{\eta}$

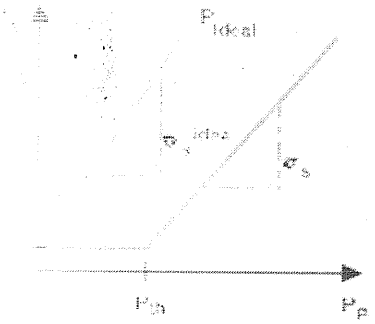
ومن العلاقات السابقة يمكن حساب نسبة الضخ : $W_p = \frac{\eta \cdot P_p}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

و نسبة الضخ عند قيمة العتبة : $W_{th} = \frac{\eta \cdot P_{th}}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

نعوض قيم W_p و W_{th} في علاقة P_A فنجد أن : $P_A = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L} \cdot (P_p - P_{th})$

و الخط البياني الذي يمثل تابعية طاقة الخرج P_A لطاقة الضخ P_p .

A to Z



ميل المستقيم الناتج يدعى درجة التأثير التفاضلية وتعطى بالعلاقة : $\sigma_s = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L}$

وفي الحالة الخاصة التي تمثل الليزر المثالي يكون مجموع الخسارات الناتجة عن المرنان معدومة أي أن ($L = 0$)

درجة التأثير التفاضلية في هذه الحالة : $\sigma_s^{ideal} = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}}$

ج-3/(13 درجة)

تعطى متجهات الحقل الكهربائي E_1 و E_2 للموجتين بالعلاقتين :

$$\vec{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right]$$

$$\vec{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

ووفقاً لمتجه-بوينتينغ نحصل على العلاقة التالية : $J = \frac{1}{2Z}(E_1 + E_2)^2$

نعوّض قيمة كل من E_1 و E_2 وبالاستفادة من مفاهيم علم المثلثات نحصل على العلاقة :

$$\frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_1^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1) + A_2^2 + A_2^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2)$$

$$+ 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1) + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1)]$$

وبما أن القيم الوسطية بالنسبة للزمن للتوابع الجيبية التي تحتوي على t تساوي إلى الصفر وذلك خلال دور [illegible]

وعندما يكون الزمن أكبر من دور الاهتزازة وبالتالي تصبح العلاقة السابقة عند مناقشتها خلال دور واحد بالشكل

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

فإذا اعتبرنا أنّ شدات الموجتان المتداخلتان J_1 و J_2 يمكن كتابتهما بدلالة كل من A_1 و A_2 أي أن :

$$J_1 = \frac{1}{2Z}A_1^2 \quad , \quad J_2 = \frac{1}{2Z}A_2^2$$

وبالتالي نجد أن : $J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$

نستنتج من هذه العلاقة أنّ الشدة الكليّة J لاتساوي بشكل عام مجموع الشدات الجزئية الموافقة للأمواج [illegible]

J_1 و J_2 وإنما يجب اضافة حداً ثالثاً لهما مرتبطاً بعملية التداخل ويدعى "حد التداخل"

A to Z

$$\cdots \cos 2\pi\left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1\right)$$

ب_ ونقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون ... بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_2-δ_1 ثابتا مع الزمن . أما إذا تغيرت قيم ثوابت الطور δ_2 و δ_1 بشكل ... ثابت أو مستقلين عن بعضهما فتكون الموجتان غير مترابطتين .

ج 4 : (20 درجة)

أ- تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانسا لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات ... مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.
- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة ... السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جدا من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100 nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

ب- **ليزر الإكسيمر:**

ان كلمة إكسيمر تعبّر عن ذرتين مرتبطتين مع بعضهما البعض وتتواجدان في الحالة المثارة. ان ... أشعة الليزر ينتج عن انتقالات للالكترونات من الحالة الحرة الى الحالة المرتبطة ضمن جزيئة ... المثارة ، والانتقال المترافق باصدار أشعة الليزر يتم بين السوية الجزيئية شبه المستقرة والسوية ... غير المستقرّة . يمكن اعتبار أن السوية اللازرية الأساسية السفلى دائما غير مشغولة بالالكترونات ... لأن زمن التفكك للجزيئة في هذه السوية صغير جدا لذلك يكون زمن الضخ بواسطة ... الالكترونية أو بواسطة الإنفراغ الكهربائي طويلا وهذا يؤدي الى كفاءة عالية في المردود. ويتم ... الحصول على فعّالية ومردود عالي في تشكّل الإكسيمر وكذلك على عدد كبير من الذرات في ... المثارة يتطلب ذلك أن يكون ضغط الغاز كبيرا . كما أن أكثر الخسارات التي تتعرّض لها أشعة ... الإكسيمر ناتجة عن عمليات الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية والتي تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي إلى تفكك جزيئات الإكسيمر.

و يمكن تمثيل عملية اثارة ليزر KrF^* عند استخدام الأشعة الالكترونية بالمخطط التالي :

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^{+*} + 2e^-$$

$$e^- + F_2 \rightarrow F + F^-$$

$$F^- + Kr^{+*} + M \rightarrow KrF^* + M$$

أما عند استخدام طريقة الانفراغ الكهربائي لاثارة ليزر KrF^* فيكون المخطط بالشكل ...

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^* + e^-$$

$$Kr^* + F_2 \rightarrow KrF^* + F$$

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي ٢٠٢٠-٢٠٢١

السؤال الأول (١٣درجة)

أ- أكتب العلاقات التي تعبّر عن عمليات الاصدار التلقائي ، والامتصاص والإصدار القسري باستخدام معاملات أينشتاين، ثم استنتج أن معامل الإصدار القسري يساوي معامل الامتصاص وكذلك العلاقة التي تربط بين معامل الإصدار التلقائي ومعامل الاصدار القسري . وذلك اذا علمت أن قانون بلانك للاشعاع هو:

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \cdot \left(\frac{1}{e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right)$$

ب- علّل لماذا تلاقي الليزرات في مجال الأمواج القصيرة صعوبات تقنية عند تصميمها.

السؤال الثاني (٢٥ درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي معامل التضخيم لليزر ثم استنتج علاقة نسبة التضخيم لأشعة الليزر وكذلك مساحة مقطع عملية الاصدار القسري.

ب- علّل عدم إمكانية الحصول على انتقال ليزري من منظومة ذرية ثنائية السويات في حالة التوازن.

السؤال الثالث (١٢ درجة)

أ- عرّف خاصية الترابط لأشعة الليزر، ثم وضّح الفرق بين الترابط الزماني والترابط المكاني.

ب- علّل تناقص طول ترابط الأشعة الصادرة عن الذرات المثارة والمتحركة بسرعات واتجاهات مختلفة.

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

أ- قارن بين ليزر النيوديميوم-زجاج و ليزر النيوديميوم-ياغ موضحاً نقاط التشابه ونقاط الاختلاف بينهما.

ب- عدد الطرق التي نحصل بوساطتها على حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة في ليزر ثاني أكسيد الكربون، ثم أذكر العوامل التي تؤدي الى تناقص معامل التضخيم لأشعة هذا الليزر.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الثاني للعام الدراسي ٢٠٢٠-٢٠٢١

ج ١ : (١٣ درجة)

الإصدار التلقائي: $\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} \cdot N_2$

الامتصاص $\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$

الإصدار القسري: $\frac{dN_2^*}{dt} = -B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$

من قانون إنحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب : $\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} + \frac{dN_2^*}{dt}$

بالتعويض نحصل على : $N_1 \cdot B_{12} \cdot \rho_{(\upsilon)} = \left[A_{21} + B_{21} \cdot \rho_{(\upsilon)}\right] N_2$

ومنه نجد أن : $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21} \cdot N_2}{B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2} \Rightarrow \rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2}(B_{12} - B_{21})}$

نعوض عن $\frac{N_1}{N_2}$ بقيمته من قانون ماكسويل بولتزمان: $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \cdot e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right]$

وهذه العلاقة تمثل قانون أينشتاين في الإشعاع ومقارنتها مع قانون بلانك نستنتج أنه حتى يكون هناك تطابق بين العلاقتين يجب أن يكون :

$$B_{21} = B_{12} = B$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3}$$

ب- لأن احتمال الانتقال للاصدار القسري ويتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد ($B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3}$). أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة جداً.

ج ٢ (٢٥ درجة)

أ- يمكن وصف الشعاع الضوئي بواسطة شدته التي تعطى بالعلاقة : $I_{(\upsilon)} = c \cdot \rho_{(\upsilon)}$

ان التغير الكلّي في شدة الأشعة الصادرة أو النافذة من المادة $I_{(\upsilon)}$ نتيجة تفاعل الشعاع الضوئي مع ذرات الوسط المتواجدة في المسافة Δz يحدث نتيجة مساهمة العمليات التالية:

عملية الامتصاص : $\Delta I_A = -N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار العفوي : $\Delta I_{spont} = N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار القسري : $\Delta I_{induced} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

مكتبة A to Z

* وبالتالي فان التغيّر الكلي هو مجموع التغيّرات السابقة: $\Delta I_{(\upsilon)} = \Delta I_{hnduced} + \Delta I_A + \Delta I_{spont}$

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

نعوض قيمة $\rho_{(\upsilon)} = \frac{I_{(\upsilon)}}{c}$ فنحصل على :

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

$$\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} + N_2 \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

وبما أن عملية الاصدار التلقائي تتم في كافة الأحوال لأنها لاتتعلق بالشدة $I_{(\upsilon)}$ وفي تقريب مقبول يمكن اهمال الحد الناتج عنها: $\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

وبماأن : $B_{12} = B_{21}$ وأن : $N_2 - N_1 = \Delta N$ فإن: $\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot B_{21} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

(10)

ومن المعلوم أن : $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \Rightarrow B_{21} = A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}$

نعوض قيمة B_{21} في العلاقة السابقة فنجد أن : $\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}\right) \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

$$\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = A_{21} \cdot \frac{c^2}{8\pi \cdot \upsilon^2} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بدلالة طول الموجة λ لتأخذ الشكل : $\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$

نرمز بـ $\gamma_{0(\upsilon)}$ للمقدار : $\gamma_{0(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)}$ ويدعى معامل التضخيم لليزر .

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل : $\frac{d\,I_{(\upsilon)}}{d\,z} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} \Rightarrow \frac{d\,I_{(\upsilon)}}{I_{(\upsilon)}} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot dz$

(4)

بمكاملة طرفي هذه العلاقة مع الأخذ بعين الاعتبار أن dz تتغير من القيمة ، الى القيمة L التي تمثل أبعاد المادة التي طولها L فنجد أن : $I_{\upsilon(L)} = I_{\upsilon(0)} \cdot e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L} \Rightarrow G_{(\upsilon)} = \frac{I_{\upsilon(L)}}{I_{\upsilon(0)}} = e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L}$

يسمى المقدار $G_{(\upsilon)}$: نسبة التضخيم لأشعة الليزر ،كما أن واحدة المقدار: $A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$ هي واحدة مساحة و تعرف باسم مساحة مقطع عملية الاصدار القسري: $\sigma_{SE(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$

(2)

ب– لا يمكن الحصول على انتقال ليزري من منظومة ثنائية السويات لأنه دائماً لدينا ازدياد في الإصدار التلقائي على حساب الإصدار القسري ، وكذلك فان عملية الضخ الضوئي لاتؤدي إلى تحقيق انعكاس في إسكان سويات الطاقة لأن أشعة الضخ سوف تؤدي إلى امتصاص واصدار قسري بشكل متساو أي أن : $B_{21} = B_{12}$.

(3)

مكتبة A to Z

ج ٣ : (١٤ درجة)

أ-نقول عن موجتين كهرطيسيتين إنهما مترابطتان إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين $\delta_2-\delta_1$ ثابتاًمع الزمن . أو الترابط يصف تابعية علاقة الطور للأمواج الضوئية المتداخلة مع بعضها البعض بالنسبة للزمان والمكان.

(9)

الترابط الزماني يتعلّق بالتوزّع الطيفي للمنبع الضوئي ويرتبط مباشرة مع زمن الترابط، بينما الترابط المكاني يصف التأثيرات التي تتعلّق بحجم المنبع الضوئي وبالتالي ارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع الضوئي مع بعضها البعض.

ب- لأن الترددات الوسطية لأشعة هذه الذرات مختلفة بدرجات متفاوتة بسبب التعرض الناتج عن مفعول دوبلر مما يؤدي إلى تعرض اضافي لترددات الأشعة وتكون النتيجة تناقصاً في طول الترابط لهذه الأشعة .

(3)

ج ٤ : (٢٨ درجة)

أ- **ليزر نيوديميوم-زجاج** : يتألف الوسط الليزري الفعّال من شوارد النيوديميوم الثلاثية Nd^{3+} التي تتوضّع بتراكيز تتراوح بين (٨٪ - ٠,٥) في بلورة من الزجاج . ويصدر هذا الليزر أشعة طول موجتها μm ١,٠٦٢ أي ضمن مجال ماتحت الأحمر. كما يلائم بشكل جيد لتوليد نبضات ليزرية عالية الاستطاعة تستخدم في تفاعلات الاندماج النووية وكذلك يمكن توليد أشعة باستطاعة منخفضة في حالة الاستخدام كمنبع ضخ ضوئي في الليزرات الأخرى.وكبلورة مضيفة تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج منها زجاج السيليكات، زجاج الفوسفات وزجاج الباريوم وتتركز المميزات الايجابية للزجاج على خاصيتين هما :

(7)

- عملية التصنيع السهلة وذلك حتى من أجل الأبعاد والحجوم الكبيرة للبلورات.
- النوعية الجيدة والخصائص البصرية الملائمة التي تبديها الأنواع المختلفة للزجاج.

بينما تنحصر السلبيات في :

- الناقلية الحرارية الضعيفة مما يسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري الفعّال .
- مساهمة الزجاج في زيادة عرض الخطوط الطيفية للإصدار والامتصاص الناتج عن شوارد الوسط الليزري الفعّال بشكل غير متجانس.

ليزر النيوديميوم- ياغ : يعتبر ليزر النيوديميوم-ياغ من أهم ليزرات الجسم الصلب فهو يعطي استطاعات عالية عند العمل بشكل نبضي ، وكذلك يمكن أن يعمل بشكل مستمر وبمواصفات جيدة . أما الشوارد الليزرية الفعّالة هي شوارد النيوديميوم Nd^{3+} وهي نفسها كما في ليزر النيوديميوم-زجاج السابق لذلك تكون الانتقالات بين سويات الطاقة هي نفسها.وفي ليزر نيوديميوم-ياغ تتركب البلورة من $(Y_3Al_5O_{12})$. ويتراوح تركيز شوارد Nd^{3+} ضمن هذه البلورة بين (٣,٥ - ٠,٥ %) . أمّا المميزات الايجابية لبلورة الياغ:

(7)

- المتانة والثبات الميكانيكي الجيدين.

مكتبة A to Z

- القساوة العالية .
- الناقلية الحرارية الجيدة.

وكنتيجة للتجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ فإن هذا النوع من الليزرات يصدر أشعة ذات خصائص فيزيائية أفضل من التي تصدرها الليزرات التي تستخدم البلورات الزجاجية. ويستخدم ليزر النيوديميوم-ياغ للحصول على أشعة ليزرية مستمرة ذات استطاعات عالية ويصدر أشعة مستقطبة خطياً لذلك يلاقي هذا النوع من الليزرات استخدامات واسعة كمنبع ضوئي في التطبيقات ضمن مجال البصريات اللاخطية وكذلك المفاعيل اللاخطية .

أ- نحصل على حالة الانعكاس في ليزر ثاني أكسيد الكربون بوساطة الطرق التالية :

- التصادمات الإلكترونية في حالة الانفراغ الغازي أو إثارة جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بوساطة تيار من الإلكترونات الحرة .
- التصادمات بين جزيئة ثاني أكسيد الكربون والجزيئات الأخرى التي توجد معها ضمن المزيج الغازي مثل جزيئات غاز الآزوت N_2.
- طريقة الضخ الضوئي والتي تتم باستخدام منبع ضوئي.
- إثارة جزيئات ثاني أكسيد الكربون عبر التفاعلات الكيميائية .

والعوامل التي تؤدي إلى تناقص في معامل التضخيم لأشعة الليزر:

*- تفكك جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) .

*- ارتفاع درجة حرارة الغاز بسبب الحرارة التي تنتج عن عملية الضخ .

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2020-2021

السؤال الأول (12 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة ، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة.

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعبر عن شرط عتبة الليزر ، ثم علل ازدياد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد في حالة الليزرات التي تصدر أشعة في مجال الأمواج القصيرة.

ب- تحدّث عن عملية الضخ الكيميائي، ثم عدد طرق الضخ الأخرى المستخدمة في الليزرات.

السؤال الثالث (15 درجة)

عرف مايلي :
1)طاقة الخرج الليزرية - 2)انعكاس اسكان سويات الطاقة - 3) حجم الضخ - 4)معادلات النسبة لليزرات - 5)ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking).

السؤال الرابع (18 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظم ما يمكن .

ب- ما هو الشرط اللازم تحققه حتى تكون الأمواج المتداخلة مترابطة.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي 2020-2021

ج 1 : (12درجة)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي خارجي تعطى قوة تأثيره بالعلاقة :

$$F = e.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (1)$$

وبالتالي سوف تنزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار X فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\frac{d_2X}{dt^2} + \omega_0^2.X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (2) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون:

$$X_h = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) \qquad (3)$$

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل:

$$X_p = B.\cos(\omega.t + \varphi) \qquad (4)$$

نعوض العلاقة (4) في العلاقة (2) وبالاصلاح نجد أن :

$$-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m} \qquad (5)$$

ومنه نجد أن :

$$B = -\frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right) \qquad (6)$$

من شروط البدء في اللحظة $t = 0$ يكون لدينا الانزياح X_0 :

$$X_0 = A_0.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) \qquad (7)$$

10

فيكون حل المعادلة (2) هو عبارة عن مجموع حلين :

$$X_{(t)} = X_h + X_p$$

أي أن :

$$X_{(t)} = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega.t + \varphi) \qquad (8)$$

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : e.E.cos(ωt+φ) فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة مقدارها:

$$U.dt = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).dX \qquad (9)$$

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن :

$$U = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).\frac{dX}{dt} \qquad (10)$$

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (8) وبعد التعويض نحصل على :

$$U = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0.t + \varphi_0).\cos(\omega.t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}\cdot\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}\cdot\sin(\omega.t + \varphi).\cos(\omega.t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي الصفر وعندما تكون التواترات قريبة جداً من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل :

$$U = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2} \qquad (12)$$

اذا وفقاً لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة :

- اذا كانت: $\cos(\varphi_0 - \varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .
- اذا كانت: $\cos(\varphi_0 - \varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

2

مكتبة A to Z

ج 2 (25 درجة)

أ- لدراسة شرط العتبة نستخدم مفهوم كثافة الفوتونات: $n = \rho_{(\upsilon)} \cdot \frac{d\upsilon}{h\upsilon}$ (1)

والتغير في كثافة الفوتونات ضمن الليزر بالنسبة للزمن تتعلّق بالعوامل التالية :

-الاصدار العفوي : $\frac{dN'}{dt} = A_{21} \cdot N_2$ (2)

-الاصدار القسري: $\frac{dN''}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (3)

-الامتصاص: $\frac{dN'''}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (4)

-الخسارات التي تحدث ضمن المرنان : $\frac{dN^*}{dt} = -\frac{n}{t_0}$ (5)

وبالتالي فان التغيّر الكلّي في كثافة الفوتونات هو مجموع التغيّرات الناتجة عن العمليات السابقة أي أن

$$\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_0} + A_{21} \cdot N_2 \quad (6)$$

ويمكننا اهمال الحد الناتج عن عملية الاصدار العفوي لأنه يساهم بتغيّر صغير في كثافة الفوتونات مقارنة بالتغيّرات الناتجة عن العمليات الأخرى: $\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_{0\,2}}$ (7)

وبتعويض قيمة $\rho_{(\upsilon)}$ من العلاقة (1) وبعد الأخذ بعين الاعتبار أنّ : $B_{21} = B_{12} = B$ وبالاصلاح نجد أن:

$$\frac{dn}{dt} = \left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n \quad (8)$$

و يحدث التضخيم عندما $\left(\frac{dn}{dt} > 0\right)$ أي أن : $\left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n > 0$ (9)

$$\Rightarrow N_2 - N_1 > \frac{d\upsilon}{B \cdot h\upsilon \cdot t_0} \quad (10)$$

وكنا قد وجدنا سابقاً أن : $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3} \Rightarrow \frac{1}{B} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3 \cdot A}$

بالتعويض في العلاقة (10)نحصل على شرط عتبة الليزر: $N_2 - N_1 > \frac{8\pi \cdot \upsilon^2}{c^3 \cdot A \cdot t_0} \cdot d\upsilon$

تزداد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد لأنه عندما يكون التردد υ كبيراً سوف يؤدي الى قيم كبيرة لحالة الانعكاس في اسكان سويات الطاقة ($N_2 - N_1$) لأنها تتناسب طرداً مع υ^2 لذلك يجب أن يكون مقدار التعرّض في الخطوط الليزرية $d\upsilon$ أصغر مايمكن حتى تتحقق عملية الليزرة والسبب في ذلك يتعلق بالازدياد الكبير في عملية الاصدار العفوي مقارنة بالاصدار القسري لأن : ($A \sim B \cdot \upsilon^2$) .

ب:- الضخ الكيميائي (الضخ بواسطة تفاعل بين ذرات أوجزيئات) :

وهذه الطريقة تُعتبر شكل خاص من أشكال الضخ التي تُستخدم في بعض أنواع الليزرات الغازية .حيث يُستفاد من طاقة التفاعلات الكيميائية الناتجة في إثارة السويات الإلكترونية لإحدى الذرات المشاركة في التفاعل الكيميائي.ومن العمليات التي تحدث في هذا النوع من الضخ الكيميائي :

مكتبة A to Z

أ- تفاعلات التفكك الضوئية : حيث تتفكك بعض الجزيئات الى مركبات ثانوية من خلال تفاعلها مع أشعة ضوئية و يكون أحد نواتج التفكك في الحالة المثارة: $AB + h\upsilon \rightarrow A^* + B$

ب- تفاعلات التبادل الحرارية : حيث تتبادل الذرات مواقعها ضمن الجزيئات لإعطاء جزيئات ذات تركيب كيميائي جديد ويتحول الفرق في الطاقة لإثارة أحد عناصر التفاعل: $A + BC \rightarrow AB^* + C$

ج-تفاعلات الاتحاد بين ذرات مختلفة بوجود ذرة وسيطة: $A + B + M \rightarrow AB^* + M$

حيث M عبارة عن ذرة تقوم بدور الوسيط في عملية التفاعل .

ويتم تحفيز التفاعلات الكيميائية المختلفة السابقة إمّا بواسطة اللهب والحرارة أو بواسطة المصابيح الضوئية .

ويمكن فصل الجزيئات المثارة عن الجزيئات غير المثارة من خلال تطبيق حقل كهربائي خارجي.

أمّا عمليات الضخ الأخرى هي:

- الضخ الضوئي (الضخ بواسطة موجة كهرطيسية)
- الضخ بواسطة التصادمات (الضخ بواسطة الإنفراغ الكهربائي)
- الضخ الكهربائي (الضخ بواسطة مرور تيار كهربائي)

ج 3 : (15 درجة)

1) طاقة الخرج الليزرية هي عبارة عن الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان في واحدة الزمن.

2) انعكاس اسكان سويات الطاقة هي عملية توزيع جديدة لذرات مادة الوسط الليزري الفعّال على سويات الطاقة العليا والتي تختلف عن التوزيع في حالة التوازن الحراري الذي يوصف بتوزّع ماكسويل- بولتزمان .

3) حجم الضخ هو الحجم من مادة الوسط الليزري الفعّال الذي يتعرض لتأثير حقل الإشعاع الخارجي أثناء عملية الضخ.

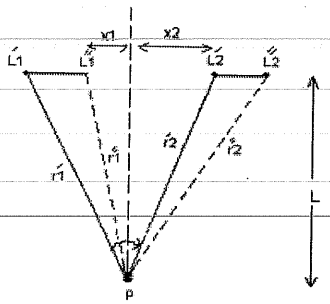
4) معادلات النسبة هي المعادلات التي تعبّر عن تغير انعكاس اسكان سويات الطاقة n وكذلك تغير كثافة الفوتونات p بالنسبة للزمن في واحدة الحجم.

5) ظاهرة التوالد النتوئي هي حالة الانزياحات الكبيرة عن وضع التوازن حيث ينتج اهتزازات لاتوافقية غير متخامدة لطاقة الخرج الليزرية على شكل قمم كبيرة أي أن طاقة الخرج الليزرية تظهر على شكل قمم متعاقبة.

مكتبة A to Z

ج 4 : (18 درجة)

أ–



لتحديد الشدة الكلية الناتجة عن التداخل يجب حساب فرق المسار بين هاتين النقطتين $r"_2 - r"_1$. ومن الشكل نستنتج أن $r_2^{"} - r_1^{"} = \sqrt{x_2^2 + \ell^2} - \sqrt{x_1^2 + \ell^2} = \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_2^2}{\ell^2}} - \ell \cdot \sqrt{1 + \frac{x_1^2}{\ell^2}}$

وفي الحالة التي يكون فيها ($\ell >> x_1 , x_2$) تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

$$r_2^{"} - r_1^{"} \approx \ell\left(1 + \frac{x_2^2}{2\ell^2}\right) - \ell\left(1 + \frac{x_1^2}{2\ell^2}\right) \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2\ell} \approx \frac{(x_2 - x_1)(x_2 + x_1)}{2\ell}$$

14

ومن الشكل نستنتج أن: $\frac{x_2 - x_1}{2} = a$ والذي يمثل امتداد المنبع الضوئي وأن : $\frac{x_2 + x_1}{\ell} = 2\sin\theta$

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل : $r_2^{"} - r_1^{"} \approx 2a \cdot \sin\theta$

ومن أجل أن تتشكل شدة عظمى في النقطة p نتيجة لتداخل الأمواج الواردة من النقطتين L"1 و L"2 يجب أن يكون فرق المسار الذي تقطعه هذه الأمواج صغيراً مقارنة بنصف طول الموجة $\lambda/2$. لذلك يمكن استنتاج قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظمية :

$$r_2^{"} - r_1^{"} \approx 2a \cdot \sin\theta << \frac{\lambda}{2} \Rightarrow a << \frac{\lambda}{4\sin\theta}$$

وفي الحالة التي تكون فيها θ صغيرة جداً يمكن تبسيط العلاقة السابقة الى الشكل : $a << \frac{\lambda}{4 \cdot \theta}$

4

ب– نقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين $\delta_2 - \delta_1$ ثابتاً مع الزمن.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم

سلم تصحيح مقرر الليزر - سنة رابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي ٢٠١٩-٢٠٢٠

السؤال الثالث (٣٠ درجة)

قوة تأثير الحقل الكهربائي:
$$F = e \cdot E \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

معادلة الحركة للإلكترون:
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot x = \frac{e}{m} \cdot E \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

حل بدون طرف
$$x_h = A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

حل بوجود طرف
$$x_p = B \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\Rightarrow -B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e \cdot E}{m} \Rightarrow B = -\frac{eE}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$$

$$x_t = x_h + x_p = A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) - \frac{eE}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)\cos(\omega t + \varphi)$$

(10) طاقة التأثير المتبادل خلال زمن dt:
$$U \cdot dt = e \cdot E \cdot \cos(\omega t + \varphi) \cdot dx$$
$$U = e \cdot E \cdot \cos(\omega t + \varphi) \cdot \frac{dx}{dt}$$
$$U = eE\omega_0 \cdot A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cdot \cos(\omega t + \varphi) + \frac{e^2E^2}{m} \cdot \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2} \sin(\omega t + \varphi)\cos(\omega t)$$

عندما $\omega \approx \omega_0$ أي $\omega - \omega_0 \approx 0$
$$U = e \cdot E \cdot \omega_0 \cdot A \frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2}$$

وهي طاقة التأثير المتبادل وفقاً لهذه العلاقة يمكن أن تكون U موجبة أو سالبة:
- إذا كانت $\cos(\varphi_0 - \varphi) > 0$ ⇐ تأخذ الذرة طاقة من الحقل ⇐ حالة امتصاص
- إذا كانت $\cos(\varphi_0 - \varphi) < 0$ ⇐ تعطي الذرة طاقة للحقل ⇐ حالة إصدار (2)

السؤال الرابع (٥٠ درجة)

أ)
$$n_{tot} = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 = Const \Rightarrow \frac{dn_{tot}}{dt} = 0$$

ويمكن اعتبار أن $N_3 \approx N_1 \approx 0$ ⇐
وفي حالة انعكاس السكان نسبيات الطاقة:
$$n_{tot} \approx N_0 + N_2$$
$$n = N_2 - N_1 \approx N_2$$
$$\Rightarrow \frac{dn}{dt} = \frac{dN_2}{dt}$$

عملية الضخ الضوئي:
$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{pump} = \eta \cdot \omega_{03} \cdot N_0 = W_p \cdot N_0$$

الإصدار التلقائي:
$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spont} = -\Gamma \cdot N_2$$

الإصدار القسري:
$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = -\sigma \cdot c \cdot P \cdot (N_2 - N_1)$$
$$= -\sigma \cdot c \cdot P \cdot n$$

(12)

وبالتالي يكون التغير الكلي هو مجموع كافة التغيرات:

$$\frac{dN_2}{dt} = -\sigma . c . P . n - \Gamma . N_2 + W_p . N_0$$

$$\Rightarrow \frac{dn}{dt} = -\sigma . c . P . n - \Gamma . n + W_p (n_{tot} - n)$$

وهي المعادلة التي تعبر عن تغير اسطامة جزيئات الطاقة بالنسبة للزمن، أو كثافة الفوتون

- التغير الناتج عن الإصدار المحرض:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{stim} = -\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stimu} = \sigma . c . P . n \quad (6)$$

- التغير الناتج عن خسارة طاقة الرنان:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{loss} = -\frac{P}{\tau_{ph}}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dt} = \sigma . c . P . n - \frac{P}{\tau_{ph}} = P\left(\sigma . c . n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

ب-) تستخدم هذه الطريقة في إثارة الذرات والجزيئات عبر عمليات تبادل للطاقة عندما تكون في حالة غازية نتيجة التصادمات بين ذرات الغاز وتترافق مع انتقال الطاقة من ذرة إلى أخرى وينتج عنه توزع جديد للإلكترونات على مستويات الطاقة، وهناك نوعين من التصادمات

- تصادمات مرنة: تؤدي إلى تغير الطاقة الحركية للذرات المتصادمة بينما تبقى الطاقة الكامنة ثابتة ولا يطرأ عليها تعديل بعد التصادم.
- تصادمات لامرنة: حيث يتم انتقال للطاقة الحركية للذرات المتصادمة إلى طاقة كامنة لإحدى الذرتين وتساهم في تحديد عملية توزع الإلكترونات على المستويات المختلفة.

ويمكن أن تتم عملية التصادمات إما بطريقة الإثارة الذاتي حيث تتولد جراء التصادمات ذاتياً خلال عملية الإثارة، أو بطريقة الإثارة غير الذاتي حيث تتولد جراء التصادمات تحت تأثيرات خارجية كالقذف بالإلكترونات أو بوساطة التأين. (7)

ويمكن أن تكون التصادمات بين ذرات من نفس النوع أو بين نوعين مختلفين من الذرات وعند استخدام طريقة التصادمات اللامرنة في إثارة الذرات يجب أخذ مقدار الطاقة المتبادلة بعين الاعتبار بحيث تتبادل جزيئات الطاقة بين المستويات الإلكترونية التي يحدث بينها الانتقال في الذرات.

وتعتبر طريقة الضخ بوساطة التصادمات من أكثر الطرق استخداماً في الليزرات الغازية.

س ٣ (١٥ درجة):

١- انطفاء انعكاس سويات الطاقة: هي عملية توزيع جديدة لذرات مادة الوسط الليزري الفعال على سويات الطاقة العليا بشكل مختلف عن التوزع الحراري الذي يوصف بتوزع ماكسويل-بولتزمان (3)

٢- حجم الضخ: هو الحجم من مادة الوسط الليزري الفعال الذي يتعرض لتأثير حقل الإشعاع الخارجي أثناء عملية الضخ. (3)

٣- معادلات النسبة: هي المعادلات التي تعبر عن تغير انعكاس إسكان سويات الطاقة n وكذلك تغير كثافة الفوتونات p بالنسبة للزمن في واحدة الحجم. (3)

٤- ظاهرة التوالد الذاتي: هي حالة الإنزياحات الكبيرة عن وضع التوازن حيث ينتج اهتزازات لا تناغمية غير متحاورة لطاقة الحزم الليزرية على شكل فيض متقاطعة. (3)

٥- الرابط المكاني: يصف التأثيرات التي تتعلق بحجم المنبع الضوئي وارتباط الأشعة الصادرة من نقاط أو أماكن مختلفة واقعة على سطح المنبع عند بعض البعض. (3)

س ٤ (١٨ درجة)

(أ-p)

$$\tau = \frac{l}{c}$$

$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_0} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow \Delta\upsilon = \upsilon_0 \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$$

إذا كان r_1 و r_2 ثابتين نحصل على شدة عظمى إذا:

$$\frac{r_2 - r_1}{\lambda_0} = n$$

وعند طول موجة آخر λ_1 بحيث $\lambda_0 \gg \lambda_1$ تكون الشدة صغرى:

$$\frac{r_2 - r_1}{\lambda_1} = \frac{2n+1}{2}$$

التمايز بينهما كاليه يوافق طول الترابط أي أن:

$$l = r_2 - r_1 = \frac{1}{2\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}\right)} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_0}{2(\lambda_0 - \lambda_1)}$$

عندما يكون $\Delta\lambda$ صغيرة عندها نعتبر $\lambda_1 \approx \lambda_0$ ∈

(14) $$\lambda_0 - \lambda_1 = \frac{\Delta\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow l = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{l}{c} = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

وبالمقارنة نحصل على:

$$\tau = \frac{1}{\Delta\upsilon}$$

$$l = \frac{c}{\Delta\upsilon}$$

ب- الترابط الزماني يتعلق بالتوزع الطيفي للمنبع الضوئي ويرتبط مباشرة مع زمن الترابط بينما الترابط المكاني يرتبط بأبعاد المنبع الضوئي وارتباط الأشعة الصادرة عن نقاط أو أماكن مختلفة من سطح المنبع. (4)

وفي حالة الأشعة الليزرية يلعب الترابط المكاني دوراً ثانوياً مقارنة مع أهمية الترابط الزماني.

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2019-2020

السؤال الأول (15درجة)

أ- أكتب العلاقات التي تعبّر عن عمليات الاصدار التلقائي ، والامتصاص والإصدار القسري باستخدام معاملات أينشتاين، ثم استنتج أن معامل الإصدار القسري يساوي معامل الامتصاص وكذلك العلاقة التي تربط بين معامل الإصدار التلقائي ومعامل الاصدار القسري . وذلك اذا علمت أن قانون بلانك للاشعاع هو:

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \cdot \left(\frac{1}{e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right)$$

ب- علل لماذا تلاقي الليزرات في مجال الأمواج القصيرة صعوبات تقنية عند تصميمها.

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لطاقة الضخ P_p وطاقة ضخ العتبة P_{th} ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي، ثم ارسم بيانيا" تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

ب- تحدّث عن عملية الضخ الكيميائي المستخدمة في الليزرات.

السؤال الثالث (15 درجة)

عرف مايلي :
طاقة الخرج الليزرية - المردود الكوانتي لعملية الضخ الضوئي - ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) - حالة الترابط - طول الترابط

السؤال الرابع (15 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الشدة الكلية لموجة كهرطيسية ناتجة عن عملية تداخل بين موجتين كهرطيسيتين ثمّ استنتج حد التداخل ثم اشرح حالة الترابط .

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة طرطوس

كلية العلوم سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته– السنة الرابعة فيزياء

الفصل الثاني للعام الدراسي 2019–2020

==========

ج–1/ (15درجة)

أ– الإصدار التلقائي: $\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} \cdot N_2$

الامتصاص $\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$

الإصدار القسري: $\frac{dN_2^*}{dt} = -B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$

من قانون إنحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب : $\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} + \frac{dN_2^*}{dt}$

بالتعويض نحصل على : $N_1 \cdot B_{12} \cdot \rho_{(\upsilon)} = \left[A_{21} + B_{21} \cdot \rho_{(\upsilon)}\right] N_2$

12

ومنه نجد أن : $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21} \cdot N_2}{B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2} \Rightarrow \rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}}$

نعوض عن $\frac{N_1}{N_2}$ بقيمته من قانون ماكسويل بولتزمان: $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \cdot e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right]$

وهذه العلاقة تمثل قانون أينشتاين في الإشعاع ومقارنتها مع قانون بلانك نستنتج أنه حتى يكون هناك تطابق بين العلاقتين يجب أن يكون :

$$B_{21} = B_{12} = B$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3}$$

ب– لأن احتمال الانتقال للاصدار القسري يتناسب طرداً مع احتمال الانتقال للاصدار التلقائي ، ولكنه يتناقص بشدة كتابع للتردد υ لأنه يتناسب عكساً مع القوة الثالثة للتردد $\left(B_{21} \sim \frac{1}{\upsilon^3}\right)$. أي أن عملية الإصدار القسري تصبح أقل احتمالاً كلما كانت υ كبيرة جداً.

3

ج–2/(25 درجة)

أ– يمكن وصف الطاقة E المختزنة ضمن المرنان بالعلاقة : $E = p \cdot V \cdot \Delta E_{21} = p \cdot V \cdot h\upsilon_{21}$

وطاقة الخرج الليزرية هي الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان أي: $P_A = \frac{E \cdot T}{\tau_R}$

حيث: T هي عبارة عن نفوذية مرآة المرنان و τ_R الزمن الذي تستغرقه الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن المرنان.

وبتعويض E بقيمتها فنجد أن :

$$P_A = \frac{p \cdot V \cdot \Delta E_{21} \cdot T}{\tau_R}$$

واذا عوضنا عن p بقيمتها نجد أن :

$$P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot T \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{\tau_{ph}}{\tau_R}$$

والمقدار $(\frac{\tau_{ph}}{\tau_R})$ يمثل قيمة التخامد في الفوتونات خلال دورة واحدة ويعطى بالعلاقة:

$$\frac{\tau_{ph}}{\tau_R} = \frac{1}{T+L}$$

حيث L تمثل مجموع الخسارات وبالتعويض في p_A نحصل :

$$P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{T}{T+L}$$

ومن أجل تحقيق نسبة الضخ W_p يجب اعطاء طاقة للوسط الليزري الفعّال وهذه الطاقة تتناسب مع عدد الالكترونات في الحجم الكلّي للوسط الليزري الفعّال وبفرق الطاقة ΔE_{30} وكذلك مع احتمال الانتقال W_{03} ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot W_{03}$$

12

وانطلاقاً من تعريف مردود عملية الضخ الضوئي نجد أن :

$$\eta = \frac{W_p}{W_{03}} \Rightarrow W_{03} = \frac{W_p}{\eta}$$

بالتعويض:

$$P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_p}{\eta}$$

وبطريقة مشابهة نستنتج طاقة الضخ عند العتبة P_{th} حيث :

$$P_{th} = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_{th}}{\eta}$$

ومن العلاقات السابقة يمكن حساب نسبة الضخ :

$$W_p = \frac{\eta \cdot P_p}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$$

و نسبة الضخ عند قيمة العتبة :

$$W_{th} = \frac{\eta \cdot P_{th}}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$$

نعوض قيم W_p و W_{th} في علاقة P_A فنجد أن :

$$P_A = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L} \cdot \left(P_p - P_{th}\right)$$

ومن أجل قيم لطاقة الضخ P_p أكبر P_{th} تكون العلاقة بين طاقة الخرج P_A وطاقة الضخ P_p خطية متزايدة وميل المستقيم الناتج يدعى درجة التأثير التفاضلية وتعطى بالعلاقة :

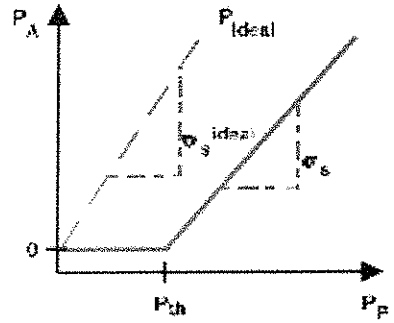
$$\sigma_s = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L}$$

3

وفي الحالة الخاصة التي تمثل الليزر المثالي يكون مجموع الخسارات الناتجة عن المرنان معدومة أي أن (L = 0) تكون درجة التأثير التفاضلية في هذه الحالة :

$$\sigma_s^{ideal} = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}}$$

و الخط البياني الذي يمثل تابعية طاقة الخرج P_A لطاقة الضخ P_p .



2

أ- **الضخ الكيميائي** (الضخ بواسطة تفاعل بين ذرات أوجزيئات):

كما هو معلوم من الكيمياء فإن بعض التفاعلات الكيميائية بين الذرات أو الجزيئات تترافق بإنتشار حرارة حيث يُستفاد منها في إثارة السويات الإلكترونية للذرات المشاركة في التفاعل. ومن هذه التفاعلات:

- أ- تفاعلات التفكك الضوئية : حيث تتفكك بعض الجزيئات الى مركبات ثانوية من خلال تفاعلها مع أشعة ضوئية و يكون أحد نواتج التفكك في الحالة المثارة مثل : $AB + h\upsilon \rightarrow A^* + B$
- تفاعلات التبادل الحرارية : حيث تتبادل الذرات مواقعها ضمن الجزيئات لإعطاء جزيئات ذات تركيب كيميائي جديد ويتحول الفرق بين طاقة الإرتباط بين الحالتين الى طاقة تُثير أحد عناصر التفاعل مثل :

8

$$A + BC \rightarrow AB^* + C$$

- ج-تفاعلات الاتحاد بين ذرات مختلفة بوجود ذرة وسيطة حيث ينتج عن ذلك تشكُّل جزيئة في الحالة المثارة : $A + B + M \rightarrow AB^* + M$

حيث M عبارة عن ذرة تقوم بدور الوسيط في عملية التفاعل .

ويمكن فصل الجزيئات المثارة عن الجزيئات غير المثارة من خلال تطبيق حقل كهربائي.

ج-3/(15 درجة)

- طاقة الخرج الليزرية هي عبارة عن الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان في واحدة الزمن . 3
- المردود الكوانتي لعملية الضخ الضوئي بأنه النسبة بين طاقة الضخ الفعلية التي تؤدي الى انتقالات بين السويتين E_0 و E_3 وطاقة الضخ المعطاة الى الوسط الليزري الفعّال . 3
- ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) هي حالة الانزياحات الكبيرة عن وضع التوازن وحالة اهتزازات لاتوافقية غير متخامدة لطاقة الخرج الليزرية تؤدي الى ظهور قمم كبيرة على شكل نتوءات (Spikes) أي أن طاقة الخرج الليزرية تظهر على شكل قمم متعاقبة. 3
- حالة الترابط تصف تابعية علاقة الطور للأمواج الضوئية المتداخلة مع بعضها البعض بالنسبة للزمان والمكان أو أنه يمكن وصف جميع الفوتونات باستخدام التابع الموجي نفسه،أو عندما يكون هناك فرقاً في الطور ثابتاً ومحدداً . 3

(3)

- طول الترابط هو المسافة التي تقطعها الأمواج الضوئية في جهة الانتشار خلال زمن الترابط

ج 4 : (15 درجة)

تعطى متجهات الحقل الكهربائي E_1 و E_2 للموجتين في النقطة التي يحدث عندها التداخل بالعلاقتين :

$$\overrightarrow{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right] \quad , \quad \overrightarrow{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

ويمكن التعبير عن متجهة الحقل الكهربائي الكلية E الناتجة عن التداخل بالعلاقة : $\vec{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}$

ووفقاً لمتجه-بوينتينغ نحصل على العلاقة التالية : $J = \frac{1}{Z}(E_1 + E_2)^2$

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_1^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1) + A_2^2 + A_2^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2)$$
$$+ 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1) + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1)]$$

وبما أن القيم الوسطية بالنسبة للزمن للتوابع الجيبية التي تحتوي على t تساوي إلى الصفر وذلك خلال دور واحد

وعندما يكون الزمن أكبر من دور الاهتزازة وبالتالي تصبح العلاقة السابقة عند مناقشتها خلال دور واحد بالشكل : (10)

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

فإذا اعتبرنا أنّ شدات الموجتان المتداخلتان J_1 و J_2 يمكن كتابتهما بدلالة كل من A_1 و A_2 أي أن :

$$J_1 = \frac{1}{2Z}A_1^2 \quad , \quad J_2 = \frac{1}{2Z}A_2^2$$

وبالتالي نجد أن : $J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$

نستنتج من هذه العلاقة أنّ الشدة الكليّة J لاتساوي بشكل عام مجموع الشدات الجزئية الموافقة للأمواج المتداخلة J_1 و J_2 وإنما يجب اضافة حداً ثالثاً لهما مرتبطاً بعملية التداخل ويدعى "حد التداخل" (2)

$$2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)$$

ونقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين (3)
ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_2-δ_1 ثابتاً مع الزمن . أما إذا تغيرت قيم ثوابت الطور δ_2 و δ_1 بشكل غير ثابت
أو مستقلين عن بعضهما فتكون الموجتان غير مترابطتين .

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2019-2020

==========

السؤال الأول (10درجات)

أثبت أن التعرض الطبيعي للخطوط الطيفية الليزرية يحقق العلاقة : $\Delta\upsilon = \frac{1}{2\pi \cdot \tau}$ ، مع العلم أنّ تابع توزع الترددات الذي يعطي احتمال وجود التردد الزاوي ω يعطى بالعلاقة :

$$g_{(\omega)} = \frac{\left(\frac{\gamma}{2\pi}\right)}{(\omega-\omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}$$

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- اذا علمت أنّ معادلات النسبة لليزر رباعي السويات هي :

$$\frac{d\,n}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p\left(n_{tot} - n\right)$$

$$\frac{d\,p}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

والمطلوب : ناقش الحلول المستقلة عن الزمن والتي تعبّر عن حالة العمل المستقر لليزر ثم ارسم الخط البياني الذي يمثّل تغيّر كثافة الفوتونات كتابع لنسبة الضخ.

ب- اشرح ظاهرة التوالد النتوئي (Spiking) والتي تلاحظ في ليزرات الجسم الصلب .

السؤال الثالث (15 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الشدة الكلية لموجة كهرطيسية ناتجة عن عملية تداخل بين موجتين كهرطيسيتين، ثمّ استنتج حد التداخل، واشرح حالة الترابط .

السؤال الرابع (20 درجة)

تحدّث عن الليزرات الغازية التي تعمل في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي، ثم تحدّث بالتفصيل عن ليزر غاز الهليوم- نيون (He-Ne-Laser).

==========

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

Scanned by CamScanner

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي 2019-2020

ج 1 : (10درجات)

بما أن تابع توزع الترددات الذي يعطي احتمال وجود تردد ω:

$$g_{(\omega)} = \frac{\frac{\gamma}{2\pi}}{(\omega-\omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}$$

وبالتالي تكون قيمة $g_{(\omega o)}$ الموافقة $\omega = \omega_0$ هي :

$$\omega = \omega_0 \quad \Rightarrow \quad g_{(\omega_0)} = \frac{2}{\pi \cdot \gamma}$$

أما قيمة تابع توزع الترددات $g_{(\omega)}$ عند منتصف الشدة العظمى أي عند الترددات الموافقة ω_1 و ω_2 فتكون :

$$g_{(\omega_1)} = g_{(\omega_2)} = \frac{1}{2} g_{(\omega_0)} = \frac{1}{\pi \cdot \gamma}$$

ويكون تابع توزع الترددات عند منتصف الشدة :

$$g_{(\omega_1)} = g_{(\omega_2)} = \frac{\frac{\gamma}{2\pi}}{(\delta\omega)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} = \frac{1}{\pi \cdot \gamma}$$

10

حيث أنّ :

$$\delta\omega = |\omega_1 - \omega_0| = |\omega_2 - \omega_0|$$

وبالتالي نستنتج أن :

$$\delta\omega = \frac{\gamma}{2}$$

وبما أن التعرض في التردد عند منتصف الشدة العظمى يساوي:

$$\Delta\omega_{(FWHM)} = 2\delta\omega = \gamma$$

وبما أن :

$$\Delta\omega = 2\pi \cdot \Delta\upsilon \quad \Rightarrow \quad \Delta\upsilon = \frac{\gamma}{2\pi}$$

γ معامل تخامد الحركة الاهتزازية ($\gamma = 1/\tau$) وبالتالي تكون قيمة التعرض الطبيعي

$$\Delta\upsilon = \frac{1}{2\pi \cdot \tau}$$

ج 2 (25 درجة)

أ-: حالة العمل المستقّر لليزر وفي حالة التوازن التي يعبّر عنها بالمعادلات: (1) $\frac{dp}{dt} = 0$, $\frac{dn}{dt} = 0$

وبالتعويض نجد أن :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p \cdot (n_{tot} - n) = 0 \qquad (2)$$

7

$$n = \frac{W_p \cdot n_{tot}}{\sigma \cdot c \cdot p + \Gamma + W_p} \qquad (3)$$

طالما الليزر يعمل تحت قيمة عتبة فلا يتشكّل أي حقل فوتونات أي أن (p = 0) ومن أجل نسبة ضخ صغيرة جداً ($W_p << \Gamma$) عندها تعطى قيمة الانعكاس بالعلاقة: (4)

$$n = \frac{W_p \cdot n_{tot}}{\Gamma}$$

وكثافة الفوتونات تصبح بعد أخذ العلاقة (1) بعين الاعتبار: (5)

$$\frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right) = 0$$

Scanned by CamScanner

وفي الحالة التي تكون فيها قيمة الانعكاس عند قيمة العتبة معروفة وذلك في حالة الليزر المستقر يمكن انطلاقاً من ذلك استنتاج العلاقة التي تعطي كثافة الفوتونات p ، فمن أجل ذلك نعوض $n = n_{th}$ في العلاقة (3) وبعد الاصلاح نحصل على العلاقة التالية:

$$p = \tau_{ph}\left[W_p\left(n_{tot} - n_{th}\right) - \Gamma \cdot n_{th}\right]$$

$$p = \tau_{ph}\left[\left(n_{tot} - n_{th}\right)\left(W_p - \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot} - n_{th}}\right)\right] \qquad (6)$$

10

واذا عرّفنا نسبة الضخ عند العتبة بالعلاقة:

$$W_{th} = \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot} - n_{th}} \qquad (7)$$

في هذه الحالة يمكن كتابة العلاقة (6) بدلالة W_{th} لتصبح:

$$p = \tau_{ph}\left(n_{tot} - n_{th}\right)\left(W_p - W_{th}\right) \qquad (8)$$

وفي حالة الليزر رباعي السويات لدينا بشكل عام ($n_{tot} >> n_{th}$) أي أنه يمكننا اهمال قيمة n_{th} بالمقارنة مع قيمة n_{tot} في العلاقة (7) لتأخذ الشكل:

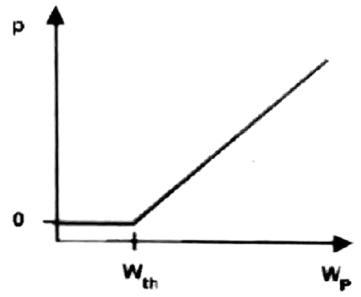
$$W_{th} = \frac{\Gamma \cdot n_{th}}{n_{tot}} \qquad (9)$$

كما أن علاقة كثافة الفوتونات (8) تأخذ الشكل :

$$p = \tau_{ph} \cdot n_{tot} \cdot \left(W_p - W_{th}\right) \qquad (10)$$

ومن أجل ($W_p < W_{th}$) تكون كثافة معدومة أي أن : $p = 0$ وذلك موضّح بالشكل التالي.

3



ب–ظاهرة التوالد النتوئي:

عند بدء عملية الضخ ($t = 0$) لايوجد عملياً أية فوتونات ضمن المرنان مادامت طاقة الضخ لم تبلغ قيمة طاقة ضخ العتبة ، وبالتالي يبدأ حقل الفوتونات بالتشكّل ضمن المرنان عندما تصل قيمة انعكاس إسكان سويات الطاقة إلى قيمة العتبة . ولكن بسبب الفترة الزمنية التي تحتاجها الفوتونات لاتمام دورة كاملة ضمن المرنان يمكن لكثافة الفوتونات أن تصل إلى حالة التوازن خلال هذه الفترة الزمنية .ومن جهة أخرى تزداد أيضاً عملية الانعكاس بشكل خطي متزايد مع الزمن حتى تتجاوز قيمة الانعكاس عند العتبة والتي تؤثر بدورها في ازدياد كثافة الفوتونات لتؤدي بالنهاية إلى انطلاق الليزر . ولكن بما أن الإصدار القسري الناتج عن عمل الليزر سوف يؤدي إلى انخفاض في انعكاس إسكان سويات الطاقة بشكل سريع ليصل إلى قيمة أدنى من قيمة العتبة مما يسبب في تعطيل حقل الإشعاع ضمن المرنان أي إلى تناقص في شدة الأشعة الليزرية وهذا يؤدي بدوره إلى توقف الليزر عن العمل حتى تقوم عملية الضخ بإثارة الذرات من جديد للوصول إلى حالة انعكاس في إسكان سويات الطاقة ومن ثم لتبدأ أشعة الليزر بالازدياد من جديد وهكذا تعود العملية لتبدأ من جديد ولكن يتواجد الليزر في هذه الحالة تحت العتبة بمقدار بسيط وبالتالي يكون مقدار الطاقة الذي يجب أن يُعطى لتحقيق عملية الانعكاس أقل من المرة التي سبقته. وهكذا يعود الليزر ليعمل ضمن حالة التوازن .

5

Scanned by CamScanner

ج 3 : (15 درجة)

تعطى متجهات الحقل الكهربائي E_1 و E_2 للموجتين في النقطة التي يحدث عندها التداخل بالعلاقتين :

$$\overrightarrow{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right]$$

$$\overrightarrow{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

ويمكن التعبير عن متجهة الحقل الكهربائي الكلية E الناتجة عن تداخل متجهات الحقول الكهربائية لكل من الموجتين E_1 و E_2 بالعلاقة :

$$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}$$

ووفقاً لمتجه-بوينتينغ نحصل على العلاقة التالية :

$$J = \frac{1}{Z}(E_1 + E_2)^2$$

نعوّض قيمة كل من E_1 و E_2 وبالاستفادة من مفاهيم علم المثلثات نحصل على العلاقة :

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_1^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1) + A_2^2 + A_2^2 \cdot \cos 4\pi(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2)$$

$$+ 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1) + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1)]$$

10

وبما أن القيم الوسطية بالنسبة للزمن للتوابع الجيبية التي تحتوي على t تساوي إلى الصفر وذلك خلال دور واحد وعندما يكون الزمن أكبر من دور الاهتزازة وبالتالي تصبح العلاقة السابقة عند مناقشتها خلال دور واحد بالشكل :

$$J = \frac{1}{2Z}[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

فإذا اعتبرنا أنّ شدات الموجتان المتداخلتان J_1 و J_2 يمكن كتابتهما بدلالة كل من A_1 و A_2 أي أن :

$$J_1 = \frac{1}{2Z}A_1^2 \quad , \quad J_2 = \frac{1}{2Z}A_2^2$$

$$J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)]$$

وبالتالي نجد أن :

نستنتج من هذه العلاقة أنّ الشدة الكليّة J لاتساوي بشكل عام مجموع الشدات الجزئية الموافقة للأمواج المتداخلة J_1 و J_2 وإنما يجب اضافة حداً ثالثاً لهما مرتبطاً بعملية التداخل ويدعى "حد التداخل"

2

$$2\sqrt{J_1 \cdot J_2} \cdot \cos 2\pi(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1)$$

3

ونقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين δ_2-δ_1 ثابتاً مع الزمن . أما إذا تغيرت قيم ثوابت الطور δ_2 و δ_1 بشكل غير ثابت أو مستقلين عن بعضهما فتكون الموجتان غير مترابطتين .

Scanned by CamScanner

ج 4 : (20 درجة)

يمكن توليد أشعة ليزرية في المجال المرئي عند استخدام عددٍ من الغازات المختلفة كوسط ليزري فعّال. ومن أهم الليزرات الغازية التي تصدر أشعة ليزرية مرئية :

- ليزر هليوم- نيون .
- الليزرات التي تستخدم فيها شوارد الغازات المثالية كوسط ليزري فعّال.
- ليزرات الأبخرة المعدنية.

(8)

وتتميز هذه الليزرات باستقرار وثبات عاليين في التردد ، وكذلك بالحصول على استطاعات عالية في حالة عمل الليزر بشكل مستمر كما هو الحال في ليزرات شوارد الغازات المثالية.

والانتقالات التي تحدث في الوسط الليزري الفعّال لهذه الليزرات هي عبارة عن انتقالات إلكترونية تحدث في الذرات المعتدلة أو في شوارد الذرات أو في الجزيئات المعتدلة.

ليزر الهليوم–نيون (He-Ne Laser) :

إن ليزر الهليوم-نيون هو عبارة عن ليزر يعمل بشكل مستمر في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي وكذلك يمكن أن يعمل أيضاً في مجال ما تحت الأحمر. ويتميز هذا الليزر بأنه يعطي إستطاعات خرج صغيرة من مرتبة الميلي واط، كما أن تصميم هذه الليزرات بسيط وذات كلفة مادية قليلة. كما يعتبر ليزر الهليوم-نيون من أكثر الليزرات استخداماً وخاصة عند طول الموجة الذي يقع في المجال المرئي $\lambda = 632,8\ nm$ أي ذو لون أحمر والذي تتميز أشعته بكثافة عالية واتجاهية دقيقة مما يسمح باستخدامه في مجالات توليف ومعايرة الأنظمة البصرية والميكانيكية وكذلك في أجهزة التحكّم والسيطرة.

(12)

وللحصول على حالة انعكاس اسكان سويات الطاقة تستخدم طريقة الانفراغ الكهربائي حيث تتم إثارة الكترونات ذرة النيون الى السويات الليزرية العليا بواسطة التصادمات اللامرنة بين ذرات النيون وذرات الهليوم شبه المستقرة والتي تكون في الحالة المثارة نتيجة تصادمها المباشر مع الالكترونات.وتتم عملية تفريغ السويات الليزرية السفلى بواسطة الإصدار العفوي ، كما تساهم عملية تصادم الذرات المثارة مع الجدران الداخلية للأنبوب الحاوي على الغاز في تفريغ هذه السويات .

ليزر الهليوم-نيون يعتبر أحد الليزرات الغازية التقليدية والذي يتميز بطول ترابط كبير لأشعته ، كما يتميز هذا الليزر بثبات واستقرار في التردد تعطيه أهمية كبيرة للاستخدام في مجالات مختلفة مثل أداة ضبط وتحكّم في تقنيات قياس الأطوال ، قياس السرعات ، قياس نعومة السطوح المستوية ، التصوير الهولوغرافي.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

Scanned by CamScanner

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي 2018-2019

السؤال الأول (10 درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة ، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة .

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعبر عن شرط عتبة الليزر ، ثم علل ازدياد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد في حالة الليزرات التي تصدر أشعة في مجال الأمواج القصيرة.

ب- تحدّث عن عملية الضخ بوساطة التصادمات (الإنفراغ الكهربائي) المستخدمة في الليزرات الغازية.

السؤال الثالث (15 درجة)

استنتج العلاقة التي تُعطي قيمة ترددات الاهتزازات الخاصة للمرنان الليزري المفتوح من النوع فابري-بيرو، ثم استنتج مجال الترددات بين الاهتزازات الخاصة المتجاورة والمنتشرة وفقاً للمحور OZ .

السؤال الرابع (20 درجة)

أ- تحدث عن الأسس الفيزيائية للوسط الليزري الفعّال في ليزرات الجسم الصلب.

ب- اشرح خصائص ومبدأ عمل كلّ من ليزر النيوديميوم-زجاج و ليزر النيوديميوم-ياغ موضّحاً نقاط التشابه ونقاط الاختلاف بينهما.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الدورة التكميلية للعام الدراسي 2018-2019

ج 1 : (10 درجات)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي خارجي تعطى قوة تأثيره بالعلاقة : $F = e.E.\cos(\omega t + \varphi)$ (1)

وبالتالي سوف تزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار X فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\frac{d_2X}{dt^2} + \omega_0^2.X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \quad (2) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون: $X_h = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0)$ (3)

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل: $X_p = B.\cos(\omega.t + \varphi)$ (4)

نعوض العلاقة (4) في العلاقة (2) وبالاصلاح نجد أن : $-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m}$ (5)

ومنه نجد أن : $B = -\frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$ (6)

من شروط البدء في اللحظة $t = 0$ يكون لدينا الانزياح X_0 : $X_0 = A_0.\sin(\omega_0.t + \varphi_0)$ (7)

فيكون حل المعادلة (2) هو عبارة عن مجموع حلين : $X_{(t)} = X_h + X_p$

أي أن : $X_{(t)} = A.\sin(\omega_0.t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega.t + \varphi)$ (8)

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : $e.E.\cos(\omega t+\varphi)$ فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة مقدارها: $U.dt = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).dX$ (9)

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن : $U = e.E.\cos(\omega.t + \varphi).\frac{dX}{dt}$ (10)

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (8) وبعد التعويض نحصل على :

$$U = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0.t + \varphi_0).\cos(\omega.t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}.\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}.\sin(\omega.t + \varphi).\cos(\omega.t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي الصفر وعندما تكون التواترات قريبة جداً من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل : $U = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2}$ (12)

اذاً وفقاً لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة :

- اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .
- اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

مكتبة A to Z

ج 2 :(25درجة)

أ- لدراسة شرط العتبة نستخدم مفهوم كثافة الفوتونات: $n = \rho_{(\upsilon)} \cdot \frac{d\upsilon}{h\upsilon}$ (1)

والتغير في كثافة الفوتونات ضمن الليزر بالنسبة للزمن تتعلّق بالعوامل التالية :

-الاصدار العفوي : $\frac{dN'}{dt} = A_{21} \cdot N_2$ (2)

-الاصدار القسري: $\frac{dN''}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (3)

-الامتصاص: $\frac{dN'''}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$ (4)

-الخسارات التي تحدث ضمن المرنان : $\frac{dN^*}{dt} = -\frac{n}{t_0}$ (5)

وبالتالي فان التغيّر الكلّي في كثافة الفوتونات هو مجموع التغيّرات الناتجة عن العمليات السابقة أي أن

$$\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_0} + A_{21} \cdot N_2 \quad (6)$$

ويمكننا اهمال الحد الناتج عن عملية الاصدار العفوي لأنه يساهم بتغيّر صغير في كثافة الفوتونات مقارنة بالتغيّرات الناتجة عن العمليات الأخرى: $\frac{dn}{dt} = B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho_{(\upsilon)} - B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)} - \frac{n}{t_{0,2}}$ (7)

وبتعويض قيمة $\rho_{(\upsilon)}$ من العلاقة (1) وبعد الأخذ بعين الاعتبار أنّ : $B_{21} = B_{12} = B$ وبالاصلاح نجد أن:

$$\frac{dn}{dt} = \left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n \quad (8)$$

و يحدث التضخيم عندما $\left(\frac{dn}{dt} > 0\right)$ أي أن : $\left[\frac{h\upsilon}{d\upsilon} \cdot B \cdot (N_2 - N_1) - \frac{1}{t_0}\right] \cdot n > 0$ (9)

$$\Rightarrow N_2 - N_1 > \frac{d\upsilon}{B \cdot h\upsilon \cdot t_0} \quad (10)$$

وكنا قد وجدنا سابقاً أن : $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3} \Rightarrow \frac{1}{B} = \frac{8\pi \cdot h\upsilon^3}{c^3 \cdot A}$

بالتعويض في العلاقة (10)نحصل على شرط عتبة الليزر: $N_2 - N_1 > \frac{8\pi \cdot \upsilon^2}{c^3 \cdot A \cdot t_0} \cdot d\upsilon$

تزداد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد لأنه عندما يكون التردد υ كبيراً سوف يؤدي الى قيم كبيرة لحالة الانعكاس في اسكان سويات الطاقة ($N_2 - N_1$) لأنها تتناسب طرداً مع υ^2 لذلك يجب أن يكون مقدار التعرّض في الخطوط الليزرية $d\upsilon$ أصغر مايمكن حتى تتحقق عملية الليزرة والسبب في ذلك يتعلق بالازدياد الكبير في عملية الاصدار العفوي مقارنة بالاصدار القسري لأن : ($A \sim B \cdot \upsilon^2$) .

ب- تعتمد هذه الطريقة في إثارة سويات الطاقة للذرات أو الجزيئات بوساطة عمليات تبادل للطاقة غير مشعة. وتحدث هذه العمليات عندما تكون المواد في حالتها الغازية وذلك نتيجة التصادمات بين ذرات الغاز، ويمكن التمييز بين نوعين من التصادمات : تصادمات مرنة و تصادمات لامرنة .

مكتبة Ato Z

ويمكن الاستفادة من التصادمات اللامرنة حيث تصطدم الإلكترونات المسرّعة أو الشوارد الكهربائية مع الذرات أو الجزيئات الغازية ويترافق ذلك بانتقال الطاقة الحركية لهذه الإلكترونات إلى طاقة داخلية في الذرات والجزيئات وتؤدي إلى نقلها إلى سويات مثارة ، والتصادمات اللامرنة تؤدي إلى تغير الطاقة الحركية .

وتترافق التصادمات اللامرنة بعملية انتقال طاقة بين الجسيمات المتصادمة وقد يكون إمّا بشكل كلّي أو جزئي مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية لأن جزءاً من طاقة الإثارة يتحول إلى طاقة حركية .

و تتم عملية التصادمات إمّا بطريقة الانفراغ الذاتي حيث تتولّد الشحنات الكهربائية ذاتياً خلال عملية الانفراغ أو بطريقة الانفراغ غير الذاتي حيث تتولّد الشحنات تحت تأثيرات خارجية مثل القذف بالإلكترونات المسرَّعة .

كما يمكن أن تكون التصادمات بين ذرات من نفس النوع وبالتالي فإن إثارة هذه الذرات يكون عبر تصادمها مع الإلكترونات المسرّعة . أو تصادمات بين نوعين مختلفين من الذرات بحيث تكون إحداهما في الحالة المثارة بينما الأخرى في الحالة الأساسية وبعد التصادم يحدث انتقال للطاقة بينهما فتصبح الذرة المثارة في حالتها الأساسية والذرة الأخرى تصبح في حالتها المثارة.

ج 3 : (15 درجة)

ليكن لدينا مرنان على شكل صندوق مغلق طوله L يمتد وفق المحور OZ وعرضه وارتفاعه متساويان وقيمتهما a يمتدان وفق المحاور OX , OY ،ويتج من معادلة الموجة ومن الشروط الحدية أمواج مستقرة، بحيث تكون مركبات

العدد الموجي k تعطى بالعلاقات: $k_x = m \cdot \frac{\pi}{a}$, $k_y = n \cdot \frac{\pi}{a}$, $k_z = q \cdot \frac{\pi}{L}$

ومن معادلة الموجة نستنتج العلاقة بين متجهة العدد الموجي k والتردد الزاوي ω : $\omega = c \cdot |k|$

ومن أجل مرنان مغلق تعطى الترددات الخاصة بالعلاقة : $\omega = \pi \cdot c \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{a}\right)^2 + \left(\frac{q}{L}\right)^2}$

اذا" انطلاقا" من هذه العلاقة سوف نستنتج العلاقة التي تصف الترددات في حالة المرنان المفتوح . لأجل ذلك نأخذ فقط الاهتزازات الخاصة التي يكون منحى انتشارها موازيا" أو قريبا" جدا" من المحور البصري للمرنان (شبه موازي) أي وفق المحور OZ وبالتالي يكون لدينا :

$$k_x << k_z = k$$
$$k_y << k_z = k$$

ومنه نجد أن :

$$\cos(k \cdot x) \approx \frac{k_x}{k_z} = \frac{m \cdot L}{q \cdot a} << 1$$

$$\cos(k \cdot y) \approx \frac{k_y}{k_z} = \frac{n \cdot L}{q \cdot a} << 1$$

$$\cos(k \cdot z) \approx 1$$

مكتبة A to Z

ومنه يمكن الاستنتاج أن : $\frac{n}{a} << \frac{q}{L}$ ، $\frac{m}{a} << \frac{q}{L}$

بالتعويض في علاقة ω فانه ينتج لدينا بشكل تقريبي ترددات الاهتزازات الخاصة للمرنان الليزري من النـــوع فابري–بيرو: $\omega = \pi \cdot c \cdot \frac{q}{L}\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{m \cdot L}{q \cdot a}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{n \cdot L}{q \cdot a}\right)^2\right]$

وفي الحالة التي تكون فيها جهة انتشار الأمواج الكهرطيسية منطبقة على المحور OZ فانه في هذه الحالة يمكـــن اعتبار : $m = n = 0$ ويكون لدينا : $\omega = \pi \cdot c \cdot \frac{q}{L}$

ومن جهة أخرى يمكن استنتاج مجال الترددات بين الاهتزازات الخاصة المتجاورة والتي تنتشر وفق المحور OZ

حيث أن : $\omega_2 = \pi \cdot c \cdot \frac{q_2}{L}$ و $\omega_1 = \pi \cdot c \cdot \frac{q_1}{L}$

$\Rightarrow \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = (q_2 - q_1) \cdot \frac{\pi \cdot c}{L}$

وفي حالة الاهتزازات المتجاورة يكون : $q_2 - q_1 = 1$ وبالتالي: $\Delta\omega = \frac{\pi \cdot c}{L} \Rightarrow \Delta\upsilon = \frac{c}{2L}$

ج 4 : (20 درجة)

أ–الوسط الليزري الفعّال: يتكون من شوارد مختلفة تتوضّع بتراكيز محددة ضمن بلورة مضيفة من الزجاج أو من بلورات ذات تراكيب مختلفة . ويمكن توليد أشعة ليزرية ضمن مجال طيفي واسع من ليزرات الجسم الصلب باستخدام عدد كبير جداً من الشوارد التي يتم الحصول عليها من : المعادن، المعادن الانتقالية ومن المعادن النادرة .وتتميز هذه الشوارد بعصابة امتصاص طيفية عريضة لأشعة الضخ.

كما أن الليزرات التي تعتمد على هذه الشوارد تصدر أشعة الليزر على شكل خطوط طيفية متعددة وذات أطوال موجية مختلفة ويتحدد ذلك من خلال :

- الشاردة الفعّالة التي تقوم بالفعل الليزري.
- نوعية البلورة المضيفة التي تحتوي على شوارد الوسط الفعّال .

ب–ليزر نيوديميوم–زجاج : يتألف الوسط الليزري الفعّال من شوارد النيوديميـــوم الثلاثيـــة Nd^{3+} الـــتي تتوضّع بتراكيز تتراوح بين ***(0,5 - 8%)*** في بلورة من الزجاج . ويصدر هذا الليزر أشعة طـــول موجتـــها ***1,062 µm*** أي ضمن مجال ماتحت الأحمر. كما يلائم بشكل جيد لتوليد نبضات ليزرية عالية الاســـتطاعة تستخدم في تفاعلات الاندماج النووية وكذلك يمكن توليد أشعة باستطاعة منخفضة في حالة الاســـتخدام كمنبع ضخ ضوئي في الليزرات الأخرى.وكبلورة مضيفة تستخدم أنواع مختلفة من الزجاج منها زجـــاج السيليكات، زجاج الفوسفات وزجاج الباريوم وتتركز المميزات الايجابية للزجاج على خاصيتين هما :

- عملية التصنيع السهلة وذلك حتى من أجل الأبعاد والحجوم الكبيرة للبلورات.

مكتبة A to Z

- النوعية الجيدة والخصائص البصرية الملائمة التي تبديها الأنواع المختلفة للزجاج.

بينما تنحصر السلبيات في :

- الناقلية الحرارية الضعيفة مما يسبب ارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري الفعّال .
- مساهمة الزجاج في زيادة عرض الخطوط الطيفية للإصدار والامتصاص الناتج عن شوارد الوسط الليزري الفعّال بشكل غير متجانس.

ليزر النيوديميوم– ياغ : يعتبر ليزر النيوديميوم–ياغ من أهم ليزرات الجسم الصلب فهو يعطي استطاعات عالية عند العمل بشكل نبضي ، وكذلك يمكن أن يعمل بشكل مستمر وبمواصفات جيدة . أما الشوارد الليزرية الفعّالة هي شوارد النيوديميوم Nd^{3+} وهي نفسها كما في ليزر النيوديميوم–زجاج السابق لذلك تكون الانتقالات بين سويات الطاقة هي نفسها.وفي ليزر نيوديميوم–ياغ تتركب البلورة من $(Y_3Al_5O_{12})$. ويتراوح تركيز شوارد Nd^{3+} ضمن هذه البلورة بين (0,5 - 3,5 %) . أمّا المميزات الايجابية لبلورة الياغ:

– المتانة والثبات الميكانيكي الجيدين.
– القساوة العالية.
– الناقلية الحرارية الجيدة.

وكنتيجة للتجانس الكبير والخصائص البصرية الجيدة التي تبديها بلورة الياغ فإن هذا النوع من الليزرات يصدر أشعة ذات خصائص فيزيائية أفضل من التي تصدرها الليزرات التي تستخدم البلورات الزجاجية. ويستخدم ليزر النيوديميوم–ياغ للحصول على أشعة ليزرية مستمرة ذات استطاعات عالية ويصدر أشعة مستقطبة خطياً لذلك يلاقي هذا النوع من الليزرات استخدامات واسعة كمنبع ضوئي في التطبيقات ضمن مجال البصريات اللاخطية وكذلك المفاعيل اللاخطية .

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته ـ السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2018-2019

السؤال الأول (10درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي التعرّض في الخطوط الطيفية الليزرية الناتج عن مفعول دوبلر ، ثم ناقش علاقة هذا التعرّض بكل من درجة الحرارة والتردد . مع العلم أن توزع ماكسويل-بولتزمان لمجموعة من الذرات وفقاً لسرعاتها يعطى بالعلاقة :

$$g_{(v)} = \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{\frac{mv^2}{2KT}}$$

السؤال الثاني (25 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تعطي معامل التضخيم لليزر ثم استنتج علاقة نسبة التضخيم لأشعة الليزر وكذلك مساحة مقطع عملية الاصدار القسري .

ب- تحدّث عن عملية الضخ الكيميائي المستخدمة في الليزرات.

السؤال الثالث (15 درجة)

أ- استنتج العلاقة التي تحدد عامل جودة وكفاءة المرنان Q_k .

ب- عدد الخصائص التقنية والمواصفات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم الأنواع المختلفة للمرنان من أجل استخدامه في الأجهزة الليزرية.

السؤال الرابع (20 درجة)

أ- ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات.

ب- اشرح مبدأ عمل ليزرات الأبخرة المعدنية.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس

كلية العلوم سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته– السنة الرابعة فيزياء

الفصل الثاني للعام الدراسي 2018–2019

==========

ج–1/ (10درجات)

من معادلة دوبلر التالية :

$$\upsilon = \upsilon_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

تجد أن:

$$v = c\left(\frac{\upsilon - \upsilon_0}{\upsilon_0}\right) \Rightarrow \quad dv = \frac{c}{\upsilon_0} \cdot d\upsilon$$

نعوض قيمة v و dv في علاقة توزع ماكسويل–بولتزمان:

$$g_{(\upsilon)} = \frac{c}{\upsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{-\frac{m \cdot c^2 \cdot (\upsilon - \upsilon_0)^2}{2K \cdot T \cdot \upsilon_0^2}} \cdot d\upsilon$$

وعندما يكون: $\upsilon = \upsilon_0$ فانّ:

$$g_{(\upsilon 0)} = \frac{c}{\upsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot d\upsilon$$

(8)

وعندما تكون $\upsilon = \upsilon_1$:

$$g_{(\upsilon_1)} = \frac{c}{\upsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{-\frac{m \cdot c^2 \cdot (\upsilon_1 - \upsilon_0)^2}{2K \cdot T \cdot \upsilon_0^2}} \cdot d\upsilon$$

بتقسيم المعادلتين السابقتين نحصل على :

$$\frac{g_{(\upsilon_1)}}{g_{(\upsilon_0)}} = \frac{1}{2} = e^{-\frac{m \cdot c^2 \cdot (\upsilon_1 - \upsilon_0)^2}{2K \cdot T \cdot \upsilon_0^2}}$$

وبأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$Ln\,2 = \frac{m \cdot c^2}{2K \cdot T} \cdot \left(\frac{\upsilon_1 - \upsilon_0}{\upsilon_0}\right)^2 \Rightarrow \frac{\upsilon_1 - \upsilon_0}{\upsilon_0} = \sqrt{\frac{2K \cdot T \cdot Ln2}{m \cdot c^2}}$$

وبما أن :

$$\upsilon_1 - \upsilon_0 = \frac{\Delta\upsilon}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\upsilon}{2\upsilon_0} = \sqrt{\frac{2K \cdot T \cdot Ln2}{m \cdot c^2}} \Rightarrow \Delta\upsilon = 2\upsilon_0 \cdot \sqrt{\frac{2K \cdot T \cdot Ln2}{m \cdot c^2}}$$

(2)

نلاحظ أن التعرض الناتج عن ظاهرة دوبلر يزداد بازدياد درجة الحرارة وكذلك يزداد مع ازدياد التردد الأساسي.

ج–2/(25 درجة)

أ– يمكن وصف الشعاع الضوئي بواسطة شدته التي تعطى بالعلاقة : $I_{(\upsilon)} = c \cdot \rho_{(\upsilon)}$

ان التغير الكلّي في شدة الأشعة الصادرة أو النافذة من المادة $I_{(\upsilon)}$ نتيجة تفاعل الشعاع الضوئي مع ذرات الوسط المتواجدة في المسافة Δz يحدث نتيجة مساهمة العمليات التالية:

عملية الامتصاص : $\Delta I_A = -N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار العفوي : $\Delta I_{spont} = N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

عملية الاصدار القسري : $\Delta I_{induced} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$

(6)

مكتبة A to Z

وبالتالي فان التغيّر الكلي هو مجموع التغيّرات السابقة: $\Delta I_{(\upsilon)} = \Delta I_{induced} + \Delta I_A + \Delta I_{spont}$

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot \rho_{(\upsilon)} \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

نعوض قيمة $\rho_{(\upsilon)} = \frac{I_{(\upsilon)}}{c}$ فنحصل على :

$$\Delta I_{(\upsilon)} = N_2 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon - N_1 \cdot \Delta z \cdot (\frac{I_{(\upsilon)}}{c}) \cdot B_{12} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h + N_2 \cdot \Delta z \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} + N_2 \cdot A_{21} \cdot g_{(\upsilon)} \cdot h\upsilon$$

وبما أن عملية الاصدار التلقائي تتم في كافة الأحوال لأنها لاتتعلق بالشدة $I_{(\upsilon)}$ وفي تقريب مقبول يمكن اهمال الحد الناتج عنها:

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(B_{21} \cdot N_2 - B_{12} \cdot N_1\right) \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

وبماأن : $B_{12} = B_{21}$ وأن : $N_2 - N_1 = \Delta N$ فإن:

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot B_{21} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

(8)

ومن المعلوم أن :

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \Rightarrow B_{21} = A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}$$

نعوض قيمة B_{21} في العلاقة السابقة فنجد أن :

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \left(\frac{h\upsilon}{c}\right) \cdot \left(A_{21} \cdot \frac{c^3}{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}\right) \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{c^2}{8\pi \cdot \upsilon^2} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بدلالة طول الموجة λ لتأخذ الشكل :

$$\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)}$$

نرمز بـ $\gamma_{0(\upsilon)}$ للمقدار : $\gamma_{0(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \Delta N \cdot g_{(\upsilon)}$ ويدعى معامل التضخيم لليزر .

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل : $\frac{d\, I_{(\upsilon)}}{d\, z} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot I_{(\upsilon)} \Rightarrow \frac{d\, I_{(\upsilon)}}{I_{(\upsilon)}} = \gamma_{0(\upsilon)} \cdot dz$

(4)

بمكاملة طرفي هذه العلاقة مع الأخذ بعين الاعتبار أن dz تتغير من القيمة 0 الى القيمة L التي تمثل أبعاد المادة التي طولها L فنجد أن :

$$I_{\upsilon(L)} = I_{\upsilon(0)} \cdot e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L} \Rightarrow G_{(\upsilon)} = \frac{I_{\upsilon(L)}}{I_{\upsilon(0)}} = e^{\gamma_{0(\upsilon)} \cdot L}$$

يسمى المقدار $G_{(\upsilon)}$: نسبة التضخيم لأشعة الليزر.

(2)

كما أن واحدة المقدار: $A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$ هي واحدة مساحة و تعرف باسم مساحة مقطع عملية الاصدار القسري: $\sigma_{SE(\upsilon)} = A_{21} \cdot \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot g_{(\upsilon)}$

مكتبة A to Z

ب- **الضخ الكيميائي** (الضخ بواسطة تفاعل بين ذرات أوجزيئات):

كما هو معلوم من الكيمياء فإن بعض التفاعلات الكيميائية بين الذرات أو الجزيئات تترافق بإنتشار حرارة حيث يُستفاد منها في إثارة السويات الإلكترونية للذرات المشاركة في التفاعل. ومن هذه التفاعلات:

- أ- تفاعلات التفكك الضوئية : حيث تتفكك بعض الجزيئات الى مركبات ثانوية من خلال تفاعلها مع أشعة ضوئية و يكون أحد نواتج التفكك في الحالة المثارة مثل : $AB + h\upsilon \rightarrow A^* + B$
- تفاعلات التبادل الحرارية : حيث تتبادل الذرات مواقعها ضمن الجزيئات لإعطاء جزيئات ذات تركيب كيميائي جديد ويتحول الفرق بين طاقة الإرتباط بين الحالتين الى طاقة تُثير أحد عناصر التفاعل مثل :

5

$$A + BC \rightarrow AB^* + C$$

- ج-تفاعلات الاتحاد بين ذرات مختلفة بوجود ذرة وسيطة حيث ينتج عن ذلك تشكُّل جزيئة في الحالة المثارة : $A + B + M \rightarrow AB^* + M$

حيث M عبارة عن ذرة تقوم بدور الوسيط في عملية التفاعل .

ويتم تحفيز التفاعلات الكيميائية المختلفة السابقة إمّا بواسطة اللهب والحرارة أو بواسطة المصابيح الضوئية، ويمكن فصل الجزيئات المثارة عن الجزيئات غير المثارة من خلال تطبيق حقل كهربائي.

ج-3/(15 درجة)

أ- اذا كان للمرنان من أجل النمط k معامل خسارة β_k فان الخسارة التي تعاني منها طاقة الاشعة بوساطة هذا النمط الذي يختزن طاقة مقدارها W_k وفي الفترة الزمنية dt تعطى بالعلاقة : $dW_k = -\beta_k \cdot W_k \cdot dt$

وعند توقف المنبع عن إصدار الطاقة تتناقص طاقة الاشعاع للأنماط بشكل أسي: $W_k(t) = W_k(0) \cdot e^{-\beta_k t}$

وتعرّف جودة المرنان من أجل النمط k بالعلاقة : $Q_k = -2\pi\upsilon \cdot \frac{W_k}{\left(\frac{dW_k}{dt}\right)}$

8

وبالتعويض نجد أن : $Q_k = \frac{2\pi\upsilon}{\beta_k}$

ويعرّف الزمن الذي تبقى فيه الفوتونات التي تتبع للنمط k ضمن المرنان بالعلاقة : $\tau_k = \frac{1}{\beta_k}$

أي أن : $Q_k = 2\pi\upsilon \cdot \tau_k$

ب- عند تصميم الأنواع المختلفة للمرنان لابد من الأخذ بعين الاعتبار الشروط والمواصفات التالية:

1- يجب أن يكون طول المرنان ثابتاً والتغيّر في طول المرنان أثناء عمل الليزر يجب أن يكون أقل من $\lambda/10$

2- إذا لم تكن مرايا المرنان متصلة مع الوسط الليزري الفعّال يجب أن تثبت على حوامل متينة قابلة للتغيير والمعايرة بشكل دقيق وحسّاس وذلك من أجل التحكم في دقّة الحصول على الإنّماط الليزرية المرغوبة.

مكتبة A to Z

3- يجب اعتماد وسائل وطرق مناسبة لتبريد المرايا وذلك لتجنّب التأثيرات الحرارية على بنية وشكل المرايا .

4- المرنانات ذات الحساسية الكبيرة ودقّة التوليف العالية يجب تثبيتها على قواعد أو طاولات صلبة وثقيلة لتجنب تأثير الاهتزازات الناتجة عن البناء ،و يجب حمايتها بمظلة عازلة للصوت لمنع تأثير الأمواج الصوتية .

5- في حالة ليزرات المواد الصلبة والتي تعمل بشكل نبضي يؤدي أحياناً التسخين غير المتجانس للوسط الليزري الفعّال إلى تغيير وتشويه في شكل أو تجانس هذا الوسط مما يؤدي إلى ظهور مناطق تعمل على تمحرق الأشعة في مراكز صغيرة أي توليد تأثير مشابه تماماً لتأثير العدسات المجمّعة للأشعة مما يسبب تخريباً وأحياناً تدمير الوسط الليزري الفعّال ، لذلك يجب اختيار مرايا تمنع حدوث هذه الظاهرة وتجنّب آثارها.

6- يجب أن تكون سطوح جميع مكونات المرنان مصقولة جيداً أي أن تكون ذات تسطّح دقيق جداً وأن لايتجاوز التغيّر فيه بين $\lambda/10 \rightarrow \lambda/100$ من السطح المثالي .

7- عند ربط مرنانين مع بعضهما البعض يجب أن يكون قطر الشعاع الضوئي وكذلك مقدار الانحناء في جبهة الموجة المنتشرة من المرنان الأول متوافقة ومتطابقة مع تلك القيم التي في المرنان الثاني .

ج 4 : (20 درجة)

أ- تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانساً لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات الأخرى مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.
- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100 nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

ب-ليزرات الأبخرة المعدنية :

تصدر ليزرات الأبخرة المعدنية الممزوجة مع بعض الغازات أشعة ليزرية ذات أطوال موجية متعددة وتقع ضمن المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي . كما أن هناك عدداً من هذه الليزرات يعمل بشكل نبضي وباستطاعة عالية، بينما ليزرات الأبخرة المعدنية التي تعمل بشكل مستمر تتشابه مع ليزر الهليوم-نيون من جهة خصائص الاستطاعة.

تُستخدم ليزرات الأبخرة المعدنية في معالجة المواد ، الهولوغرافيا أو كمنبع ضوئي لإثارة الفلورة في الدراسات الطيفية وفي عملية الضخ الضوئي لليزرات الصباغية .إن الانتقالات الليزرية تحدث في هذا النوع من الليزرات بين السويات الإلكترونية في الذرات المعتدلة أو شوارد الأبخرة المعدنية.

مكتبة A10Z

تتم عملية إثارة ذرات الأبخرة المعدنية بطريقة الانفراغ الغازي إمّا بشكل إثارة مستمرة أو على شكل نبضات وذلك بعد إضافة غاز الهليوم الذي تشارك ذراته في عملية التصادمات لتحقيق عملية الانفراغ كما يلعب غاز الهليوم دوراً أساسياً في المحافظة على استمرارية الانفراغ الغازي . كما يجب أن يكون ضغط غاز الهليوم عالياً بشكل كاف ويجب أيضاً تسخين أنبوب الإنفراغ لتجنّب عملية تكاثف الأبخرة المعدنية على نوافذ بروستر.

10

ويمكن الحصول على الأبخرة المعدنية بالاعتماد على طريقتين :

- تبخير المعادن النقية وذلك بتسخينها حتى درجات حرارة عالية جداً.
- تفكك الروابط المعدنية التي تربط ذرات المعادن بغيرها من الذرات .

ويتم تحقيق حالة الانعكاس في إسكان سويات الطاقة لهذا النوع من الليزرات إمّا بطريقة التصادمات الإلكترونية المباشرة كما هو الحال في الذرات المعدنية المعتدلة، أو من خلال التصادمات من النوع الثاني غير المباشرة حيث تصطدم ذرات الأبخرة المعدنية مع ذرات غاز الهليوم المثارة مما يؤدي إلى تشرّد ذرات المعدن وإثارتها.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

مكتبة A to Z

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعة ونصف
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2016-2017

==========

ok

السؤال الأول (10 درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة ، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة .

السؤال الثاني (25 درجة)

استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لطاقة الضخ P_p وطاقة ضخ العتبة P_{th} ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي ، ثم ارسم بيانيا" تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

ok

السؤال الثالث (15 درجة)

عدد أنواع الخسارات التي تعاني منها الأشعة الكهرطيسية ضمن المرنان ، ثم استنتج العلاقة التي تحدد عامل جودة وكفاءة المرنان Q_k

السؤال الرابع (20 درجة)

ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع ليزرات الجسم الصلب، ثم اشرح مبدأ عمل ليزر - الإكسيمر مع كتابة مخطط إثارة ليزر فلوريد الكريبتون KrF^* عند استخدام الأشعة الإلكترونية وكذلك طريقة الإنفراغ الكهربائي .

انتهت الأسئلة

مع الأمنيات بالنجاح

2017/1/22

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة البعث

قسم الفيزياء سلم تصحيح مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء

الفصل الأول للعام الدراسي 2016-2017

ج 1 : (10 درجات)

ليكن لدينا ذرة نفترض أنها تمثل ثنائي قطب كهربائي يهتز بشكل غير متخامد و تخضع لتأثير حقل كهربائي خارجي تعطى قوة تأثيره بالعلاقة :

$$F = e.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (1)$$

وبالتالي سوف تزاح الشحنة المهتزة عن وضع التوازن بالقدار X فتكون معادلة الحركة بالشكل :

$$\frac{d_2X}{dt^2} + \omega_0^2.X = \frac{e}{m}.E.\cos(\omega t + \varphi) \qquad (2) \qquad ; \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اذا كانت المعادلة متجانسة فان حلها بدون طرف ثان يكون: $X_h = A.\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ (3)

وفي حالة عدم التجانس يأخذ الحل بوجود طرف ثان الشكل: $X_p = B.\cos(\omega t + \varphi)$ (4)

نعوض العلاقة (4) في العلاقة (2) وبالاصلاح نجد أن : $-B(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{e.E}{m}$ (5)

ومنه نجد أن : $B = -\frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right)$ (6)

من شروط البدء في اللحظة $t = 0$ يكون لدينا الانزياح X_0 : $X_0 = A_0.\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ (7)

فيكون حل المعادلة (2) هو عبارة عن مجموع حلين : $X_{(t)} = X_h + X_p$

أي أن : $X_{(t)} = A.\sin(\omega_0 t + \varphi_0) - \frac{e.E}{m}\left(\frac{1}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).\cos(\omega t + \varphi)$ (8)

عند تأثير قوة حقل كهربائي من الشكل : $e.E.\cos(\omega t+\varphi)$ فانه يتم خلال الفترة الزمنية dt انتقال طاقة مقدارها:

$$U.dt = e.E.\cos(\omega t + \varphi)dX \qquad (9)$$

و يمكن استنتاج الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن : $U = e.E.\cos(\omega t + \varphi).\frac{dX}{dt}$ (10)

نحسب قيمة : $\frac{dX}{dt}$ من العلاقة (8) وبعد التعويض نحصل على :

$$U = e.E.\omega_0.A.\cos(\omega_0 t + \varphi_0).\cos(\omega t + \varphi) + \frac{e^2.E^2}{m}.\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}.\sin(\omega t + \varphi).\cos(\omega t + \varphi)$$

اذا درسنا القيمة الوسطية لهذه العلاقة خلال دور تام بالنسبة للتواتر الزاوي ω فان الحد الثاني سوف يساوي الصفر وعندما تكون التواترات قريبة جداً من تواتر التجاوب أي عندما $|\omega - \omega_0| << \omega$ تصبح العلاقة بالشكل :

$$U = e.E.\omega_0.A.\frac{\cos(\varphi_0 - \varphi)}{2} \qquad (12)$$

اذاً وفقاً لهذه العلاقة تكون الطاقة المتبادلة بين الحقل والذرة في واحدة الزمن اما موجبة أو سالبة

– اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) > 0$ تأخذ الذرة طاقة من الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الامتصاص .

– اذا كانت: $\cos(\varphi_0-\varphi) < 0$ تعطي الذرة طاقة الى الحقل الخارجي وهذا يوافق حالة الاصدار .

ج 2 :(25درجة)

يمكن وصف الطاقة E المختزنة ضمن المرنان بالعلاقة : $E = p \cdot V \cdot \Delta E_{21} = p \cdot V \cdot h\upsilon_{21}$

وطاقة الخرج الليزرية هي الجزء من الطاقة المختزنة في المرنان الذي يغادر المرنان أي: $P_A = \frac{E \cdot T}{\tau_R}$

حيث: T هي عبارة عن نفوذية مرآة المرنان و τ_R الزمن الذي تستغرقه الفوتونات لإتمام دورة كاملة ضمن المرنان.

وبتعويض E بقيمتها فنجد أن : $P_A = \frac{p \cdot V \cdot \Delta E_{21}}{\tau_R} \cdot T$

واذا عوضنا عن p بقيمتها نجد أن : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot T \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{\tau_{ph}}{\tau_R}$

(8)

والمقدار $(\frac{\tau_{ph}}{\tau_R})$ يمثل قيمة التخامد في الفوتونات خلال دورة واحدة ويعطى بالعلاقة: $\frac{\tau_{ph}}{\tau_R} = \frac{1}{T+L}$

حيث E تمثل مجموع الخسارات وبالتعويض في p_A نحصل : $P_A = \Delta E_{21} \cdot V \cdot n_{tot} \cdot (W_p - W_{th}) \cdot \frac{T}{T+L}$

ومن أجل تحقيق نسبة الضخ W_p يجب اعطاء طاقة للوسط الليزري الفعّال وهذه الطاقة تتناسب مع عدد الإلكترونات في الحجم الكلّي للوسط الليزري الفعّال وبفرق الطاقة ΔE_{30} وكذلك مع احتمال الانتقال W_{03}

ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة: $P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot W_{03}$

وانطلاقاً من تعريف مردود عملية الضخ الضوئي نجد أن : $\eta = \frac{W_p}{W_{03}} \Rightarrow W_{03} = \frac{W_p}{\eta}$

بالتعويض: $P_p = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_p}{\eta}$

(10)

وبطريقة مشابهة نستنتج طاقة الضخ عند العتبة P_{th} حيث : $P_{th} = n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30} \cdot \frac{W_{th}}{\eta}$

ومن العلاقات السابقة يمكن حساب نسبة الضخ : $W_p = \frac{\eta \cdot P_p}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

و نسبة الضخ عند قيمة العتبة : $W_{th} = \frac{\eta \cdot P_{th}}{n_{tot} \cdot V \cdot \Delta E_{30}}$

نعوض قيم W_p و W_{th} في علاقة P_A فنجد أن : $P_A = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L} \cdot (P_p - P_{th})$

ومن أجل قيم لطاقة الضخ P_p أكبر P_{th} تكون العلاقة بين طاقة الخرج P_A وطاقة الضخ P_p خطية متزايدة

(2)

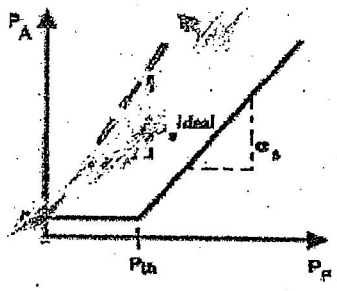
وميل المستقيم الناتج يدعى درجة التأثير التفاضلية وتعطى بالعلاقة : $\sigma_s = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}} \cdot \frac{T}{T+L}$

وفي الحالة الخاصة التي تمثل الليزر المثالي يكون مجموع الخسارات الناتجة عن المرنان معدومة أي أن (L = 0)

(2)

تكون درجة التأثير التفاضلية في هذه الحالة : $\sigma_s^{ideal} = \eta \cdot \frac{\Delta E_{21}}{\Delta E_{30}}$

و الخط البياني الذي يمثل تابعية طاقة الخرج P_A لطاقة الضخ P_p :



3

ج 3 : (15 درجة)

أنواع الخسارة التي تعاني منها الأشعة الكهرطيسية ضمن المرنان:

1- الخسارة الناتجة عن الانعراج χ_B وذلك لأن شدة الأشعة في حالة توزع حقل الأمواج المستقرة داخل المرنان تكون غير معدومة على أطراف المرايا وهذا يؤدي الى خسارة جزء من هذه الأشعة بسبب عملية الانعراج عند أطراف المرايا أثناء عملية انكسار الأشعة .

8

2- الخسارة الناتجة عن عدم الترابط بين مرآتي المرنان χ_A

3- الخسارة الناتجة عن عدم دقة ضبط المرايا χ_G وذلك بسبب انحراف محور المرايا عن محور المرنان.

4- الخسارة الناتجة عن التشتت والامتصاص χ_ω وهذه الخسارة تتعلق بجودة المواد التي يتكون منها الوسط الليزري الفعّال وكذلك نوعية المواد التي تدخل في تصنيع المرايا.

عامل جودة وكفاءة المرنان:

اذا كان للمرنان من أجل النمط k معامل خسارة β_k فان الخسارة التي تعاني منها طاقة الاشعة بوساطة هذا النمط الذي يختزن طاقة مقدارها W_k وفي الفترة الزمنية dt تعطى بالعلاقة : $dW_k = -\beta_k \cdot W_k \cdot dt$

وعند توقف المنبع عن إصدار الطاقة ستتناقص طاقة الاشعاع لأنماط المرنان بشكل أسي بحيث ينتج لدينا :

$$W_k(t) = W_k(0) \cdot e^{-\beta \cdot t}$$

7

وتعرّف جودة المرنان من أجل النمط k بالعلاقة : $Q_k = -2\pi\upsilon \cdot \frac{W_k}{\left(\frac{dW_k}{dt}\right)}$

وبالتعويض نجد أن : $Q_k = \frac{2\pi\upsilon}{\beta_k}$

ويعرّف الزمن الذي تبقى فيه الفوتونات التي تتبع للنمط k ضمن المرنان بالعلاقة : $\tau_k = \frac{1}{\beta_k}$

وبالتالي فإن عامل جودة المرنان : $Q_k = 2\pi\upsilon \cdot \tau_k$

ج 4 : (20 درجة)

تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانساً لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات الأخرى مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.
- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100'nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

10

– ليزر الإكسيمر: ان كلمة إكسيمر تعبّر عن ذرتين مرتبطتين مع بعضهما البعض وتتواجدان في الحالة المثارة. ان اصدار أشعة الليزر ينتج عن انتقالات للالكترونات من الحالة الحرة الى الحالة المرتبطة ضمن جزيئة الإكسيمر المثارة ، والانتقال المترافق باصدار أشعة الليزر يتم بين السوية الجزيئية شبه المستقرّة والسوية الأساسية غير المستقرّة . يمكن اعتبار أن السوية اللازرية الأساسية السفلى دائماً غير مشغولة بالالكترونات وذلك لأن زمن التفكك للجزيئة في هذه السوية صغير جداً لذلك يكون زمن الضخ بواسطة الأشعة الالكترونية أو بواسطة الإنفراغ الكهربائي طويلاً وهذا يؤدي الى كفاءة عالية في المردود. ومن أجل الحصول على فعّالية ومردود عالي في تشكّل الإكسيمر وكذلك على عدد كبير من الذرات في الحالة المثارة يتطلب ذلك أن يكون ضغط الغاز كبيراً. كما أن أكثر الخسارات التي تتعرّض لها أشعة ليزرات الإكسيمر ناتجة عن عمليات الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية والتي تقود الى تفاعلات ضوئية تؤدي إلى تفكك جزيئات الإكسيمر.

10

و يمكن تمثيل عملية اثارة ليزر KrF^* عند استخدام الأشعة الالكترونية بالمخطط التالي :

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^{+*} + 2e^-$$

$$e^- + F_2 \rightarrow F + F^-$$

$$F^- + Kr^{+*} + M \rightarrow KrF^* + M$$

أما عند استخدام طريقة الانفراغ الكهربائي لاثارة ليزر KrF^* فيكون المخطط بالشكل التالي:

$$e^- + Kr \rightarrow Kr^* + e^-$$

$$Kr^* + F_2 \rightarrow KrF^* + F$$

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعة ونصف
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الدورة التكميلية للعام الدراسي 2015-2016

السؤال الأول (10 درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي التعرّض في الخطوط الطيفية الليزرية الناتج عن مفعول دوبلر ، ثم ناقش علاقة هذا التعرّض بكل من درجة الحرارة والتردد، مع العلم أن توزع ماكسويل – بولتزمان لمجموعة من الذرات وفقاً لسرعاتها يعطى بالعلاقة:

$$g_{(v)} = \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2KT}}$$

السؤال الثاني (20 درجة)

استنتج العلاقة التي تعبر عن شرط عتبة الليزر ، ثم علل ازدياد صعوبة تحقيق عملية الليزرة مع ازدياد التردد في حالة الليزرات التي تصدر أشعة في مجال الأمواج القصيرة .

السؤال الثالث (8 درجات)

تحدّث عن عملية الضخ الكيميائي في الليزرات ، وعدّد عمليات الضخ الأخرى المستخدمة في الليزرات المختلفة .

السؤال الرابع (14 درجة)

عدّد الخصائص التقنية والمواصفات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم الأنواع المختلفة للمرنان من أجل استخدامه في الأجهزة الليزرية.

السؤال الخامس (18 درجة)

تحدّث عن الليزرات الغازية التي تعمل في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي، ثم اشرح مبدأ عمل ليزرات الأبخرة المعدنية.

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعة ونصف
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2015-2016

==========

السؤال الأول (10 درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة التعرض الطبيعي للخطوط الطيفية الليزرية ، مع العلم أنّ تابع توزع الترددات الذي يعطي احتمال وجود التردد الزاوي ω يعطى بالعلاقة :

$$g_{(\omega)} = \frac{\frac{\gamma}{2\pi}}{(\omega-\omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}$$

السؤال الثاني (25 درجة)

إذا علمت أنّ معادلات النسبة لليزر رباعي السويات هي :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p\left(n_{tot} - n\right)$$

$$\frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

والمطلوب :

أ- أوجد الحلول المستقلة عن الزمن والتي تعبّر عن حالة العمل المستقر لليزر ثم ارسم الخط البياني الذي يمثّل تغيّر كثافة الفوتونات كتابع لنسبة الضخ .

ب) اشرح باختصار وبالاعتماد على وصف الطرق الكيفية ظاهرة التوالد النتوني (Spiking) التي تلاحظ في ليزرات الجسم الصلب .

السؤال الثالث (15 درجة)

استنتج العلاقة التي تُعطي قيمة ترددات الاهتزازات الخاصة للمرنان الليزري المفتوح من النوع فابري-بيرو ، ثم استنتج مجال الترددات بين الاهتزازات الخاصة المتجاورة والمنتشرة وفقاً للمحور OZ .

السؤال الرابع (20 درجة)

تحدث عن الأسس الفيزيائية للوسط الليزري الفعّال في ليزرات الجسم الصلب، ثم تحدث عن كلّ من ليزر النيوديميوم-زجاج و ليزر النيوديميوم-ياغ موضحاً نقاط التشابه ونقاط الاختلاف بينهما.

==========

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2015-2016

==========

السؤال الأول (13 درجة)

أكتب العلاقات التي تعبّر عن عمليات الإصدار التلقائي ، الامتصاص والإصدار القسري باستخدام معاملات أينشتاين، ثم استنتج أن معامل الإصدار القسري يساوي معامل الامتصاص وكذلك العلاقة التي تربط بين معامل الإصدار التلقائي ومعامل الإصدار القسري .

السؤال الثاني (20 درجة)

استنتج معادلات النمية عند حالة التوازن والتي تعبر عن التغير في إسكان سويات الطاقة n وكذلك التغير في كثافة الفوتونات p في واحدة الحجم وذلك في الليزر رباعي السويات.

السؤال الثالث (17 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي الشدة الكلية لموجة كهرطيسية ناتجة عن عملية تداخل بين موجتين كهرطيسيتين ثمّ استنتج حد التداخل، ثم اشرح حالة الترابط .

السؤال الرابع (20 درجة)

ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات ثم تحدّث بالتفصيل عن ليزر غاز الهليوم- نيون (He-Ne-Laser).

انتهت الأسئلة

مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر

د. مالك يونس

11/2/2016

ج-1/ (13درجة)

الإصدار التلقائي: $\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} \cdot N_2$

الامتصاص: $\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho_{(\upsilon)}$

الإصدار القسري: $\frac{dN_2^{\cdot}}{dt} = -B_{21} \cdot N_2^{\cdot} \cdot \rho_{(\upsilon)}$

من قانون إنحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب : $\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} + \frac{dN_2^{\cdot}}{dt}$

بالتعويض نحصل على : $N_1 \cdot B_{12} \cdot \rho_{(\upsilon)} = \left[A_{21} + B_{21} \cdot \rho_{(\upsilon)}\right] N_2$

ومنه نجد أن : $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21} \cdot N_2}{B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2} \Rightarrow \rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2}(B_{12} - B_{21})}$

نعوض عن $\frac{N_1}{N_2}$ بقيمته من قانون ماكسويل بولتزمان: $\rho_{(\upsilon)} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left[\frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \cdot e^{\frac{h\upsilon}{kT}} - 1} \right]$

وهذه العلاقة تمثل قانون أينشتاين في الإشعاع وبمقارنتها مع قانون بلانك نستنتج أنه حتى يكون هناك تطابق بين العلاقتين يجب أن يكون :

$B_{21} = B_{12} = B$

$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3}$

ج-2/(20 درجة)

إذا اعتبرنا أن n_{tot} هو عدد الالكترونات الكلّي التي تتواجد في السويات الأربعة في ليزر رباعي السويات وهذا العدد ذو قيمة ثابتة ويعطى بالعلاقة :

$n_{tot} = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 = const$ (1)

$\Rightarrow \frac{dn_{tot}}{dt} = 0$ (2)

وبما أن عمر الحالة المثارة للسويتين E_3 وE_1 صغيراً بالمقارنة مع السويات الأخرى لذلك يمكن اعتبارها خالية من الالكترونات أي ($N_3 = N_1 \approx 0$) وبالتالي تصبح المعادلة (1) بالشكل : $n_{tot} \approx N_0 + N_2$ (3)

وفي حالة انعكاس إسكان سويات الطاقة يكون لدينا : $n = N_2 - N_1 \approx N_2$ (4)

وذلك لأن $N_1 \approx 0$ فمن ذلك يمكننا أن نستنتج أن : $\frac{dn}{dt} = \frac{dN_2}{dt}$ (5)

كما أن عدد الالكترونات في هذه السوية E_2 يتغير وفقاً لعدة عمليات مختلفة منها :

-عملية الضخ الضوئي (الامتصاص): $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{pump} = \eta \cdot W_{03} \cdot N_0 = W_p \cdot N_0$ (6)

-الاصدار العفوي: $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spont} = -\Gamma \cdot N_2$ (7)

-الاصدار القسري: $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1)$ (8)

وبما أن : $n = N_2 - N_1$ نجد أن : $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n$ (9)

وبشكل عام يكون التغيّر بالنسبة للزمن لعدد الالكترونات في السوية E_2 هو عبارة عن مجموع كافة التغيّرات السابقة

أي أن : $\frac{dN_2}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot N_2 + W_p \cdot N_0$ (10)

وبمقارنة العلاقة (10) مع العلاقة (5) وبتعويض قيمة N_0 من العلاقة (3) و أن ($n \approx N_2$) نجد أن :

$$\frac{dn}{dt} = -\sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p \cdot (n_{tot} - n) \quad (11)$$

أما تغيّر كثافة الفوتونات الناتجة عن الانتقالات القسرية بالنسبة للزمن :

- التغير الناتج عن عملية الاصدار القسري: $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stim} = \left(-\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot (N_2 - N_1)$

$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{stim} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n$ (12)

-التغيّر الناتج عن الخسارة ضمن المرنان: $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{loss} = -\frac{p}{\tau_{ph}}$ (13)

حيث يعبّر τ_{ph} عن زمن التخامد في كثافة الفوتونات الناتجة عن الخسارة ضمن المرنان .

و يكون التغيّر الكلّي هو: $\frac{dp}{dt} = \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{p}{\tau_{ph}} \Rightarrow \frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$ (14)

ج-3/(17 درجة)

تعطى متجهات الحقل الكهربائي E_1 و E_2 للموجتين في النقطة التي يحدث عندها التداخل بالعلاقتين :

$$\overrightarrow{E_1} = A_1 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1\right]$$

$$\overrightarrow{E_2} = A_2 \cdot \cos 2\pi\left[\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2\right]$$

ويمكن التعبير عن متجهة الحقل الكهربائي الكلية E الناتجة عن تداخل متجهات الحقول الكهربائية لكل من الموجتين E_1 و E_2 بالعلاقة : $\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}$

ووفقاً لمتجه-بوينتينغ نحصل على العلاقة التالية : $J = \frac{1}{Z}(E_1 + E_2)^2$

نعوّض قيمة كل من E_1 و E_2 وبالاستفادة من مفاهيم علم المثلثات نحصل على العلاقة :

$$J=\frac{1}{2Z}[A_1^2+A_1^2\cdot\cos 4\pi(\frac{t}{T}-\frac{r_1}{\lambda}-\delta_1)+A_2^2+A_2^2\cdot\cos 4\pi(\frac{t}{T}-\frac{r_2}{\lambda}-\delta_2)$$

$$+2A_1\cdot A_2\cdot\cos 2\pi(\frac{r_2-r_1}{\lambda}+\delta_2-\delta_1)+2A_1\cdot A_2\cdot\cos 2\pi(\frac{2t}{T}-\frac{r_2+r_1}{\lambda}-\delta_2-\delta_1)]$$

وبما أن القيم الوسطية بالنسبة للزمن للتوابع الجيبية التي تحتوي على t تساوي إلى الصفر وذلك خلال دور واحد وعندما يكون الزمن أكبر من دور الاهتزازة وبالتالي تصبح العلاقة السابقة عند مناقشتها خلال دور واحد بالشكل :

$$J=\frac{1}{2Z}[A_1^2+A_2^2+2A_1\cdot A_2\cdot\cos 2\pi(\frac{r_2-r_1}{\lambda}+\delta_2-\delta_1)]$$

فإذا اعتبرنا أنّ شدات الموجتان المتداخلتان J_1 و J_2 يمكن كتابتهما بدلالة كل من A_1 و A_2 أي أن :

$$J_1=\frac{1}{2Z}A_1^2 \quad , \quad J_2=\frac{1}{2Z}A_2^2$$

وبالتالي نجد أن :

$$J=J_1+J_2+2\sqrt{J_1\cdot J_2}\cdot\cos 2\pi(\frac{r_2-r_1}{\lambda}+\delta_2-\delta_1)]$$

نستنتج من هذه العلاقة أنّ الشدة الكليّة J لاتساوي بشكل عام بمجموع الشدات الجزئية الموافقة للأمواج المتداخلة J_1 و J_2 وإنما يجب اضافة حداً ثالثاً لهما مرتبطاً بعملية التداخل ويدعى "حد التداخل"

$$2\sqrt{J_1\cdot J_2}\cdot\cos 2\pi(\frac{r_2-r_1}{\lambda}+\delta_2-\delta_1)$$

ونقول عن موجتين كهرطيسيتين أنهما مترابطتين إذا كانت بينهما علاقة طور ثابتة ومحددة بحيث يكون الفرق بين ثوابت الطور لهاتين الموجتين $\delta_2-\delta_1$ ثابتاً مع الزمن . أما إذا تغيرت قيم ثوابت الطور δ_2 و δ_1 بشكل غير ثابت أو مستقلين عن بعضهما فتكون الموجتان غير مترابطتين .

ج 4 : (20 درجة)

تتمتع الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى المختلفة من الليزرات بالميزات التالية :

- إن استخدام الغازات كوسط ليزري فعّال تكون أكثر تجانساً لتوزع ذرات الغاز منه في حالة الليزرات الأخرى مما يؤدي إلى الحصول على أشعة ليزرية ذات خصائص أفضل.
- في حالة الغازات المستخدمة كوسط ليزري فعّال يكون التبادل الحراري أسرع منه في الأجسام الصلبة أو السوائل مما يساعد على تصريف الحرارة المتولدة في الوسط الليزري الفعّال بشكل سريع.
- طول الوسط الليزري الفعّال يكون أكبر في الليزرات الغازية وذلك بسبب ضغوط الغاز المنخفضة .
- في الليزرات الغازية نحصل على ترددات أكثر دقة في طول الموجة وكذلك استقرار في عمل الليزر.
- إمكانية الحصول من الليزرات الغازية على طيف واسع جداً من الترددات يمتد من مجال الأشعة فوق البنفسجي 100 nm وحتى مجال الأمواج المايكروية 2 mm .

ليزر الهليوم–نيون (He-Ne Laser) :

إن ليزر الهليوم–نيون هو عبارة عن ليزر يعمل بشكل مستمر في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي وكذلك يمكن أن يعمل أيضاً في مجال ما تحت الأحمر. ويتميز هذا الليزر بأنه يعطي إستطاعات خرج صغيرة من مرتبة الميلي واط، كما أن تصميم هذه الليزرات بسيط وذات كلفة مادية قليلة. كما يعتبر ليزر الهليوم–نيون من أكثر الليزرات استخداماً وخاصة عند طول الموجة الذي يقع في المجال المرئي $\lambda = 632,8\ nm$ أي ذو لون أحمر والذي تتميز أشعته بكثافة عالية واتجاهية دقيقة مما يسمح باستخدامه في مجالات توليف ومعايرة الأنظمة البصرية والميكانيكية وكذلك في أجهزة التحكّم والسيطرة.

وللحصول على حالة انعكاس اسكان سويات الطاقة تستخدم طريقة الانفراغ الكهربائي حيث تتم إثارة الكترونات ذرة النيون الى السويات الليزرية العليا بواسطة التصادمات اللامرنة بين ذرات النيون وذرات الهليوم شبه المستقرة والتي تكون في الحالة المثارة نتيجة تصادمها المباشر مع الالكترونات. وتتم عملية تفريغ السويات الليزرية السفلى بواسطة الإصدار العفوي ، كما تساهم عملية تصادم الذرات المثارة مع الجدران الداخلية للأنبوب الحاوي على الغاز في تفريغ هذه السويات .

ليزر الهليوم–نيون يعتبر أحد الليزرات الغازية التقليدية والذي يتميز بطول ترابط كبير لأشعته . كما يتميز هذا الليزر بثبات واستقرار في التردد تعطيه أهمية كبيرة للاستخدام في مجالات مختلفة مثل أداة ضبط وتحكّم في تقنيات قياس الأطوال ، قياس السرعات ، قياس نعومة السطوح المستوية ، التصوير الهولوغرافي.

==========

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعة ونصف
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي 2014-2015

==========

السؤال الأول (12 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي التعرّض في الخطوط الطيفية الليزرية الناتج عن مفعول دوبلر ، ثم ناقش علاقة هذا التعرّض بكل من درجة الحرارة والتردد، مع العلم أن توزع ماكسويل – بولتزمان لمجموعة من الذرات وفقاً لسرعاتها يعطى بالعلاقة :

$$g_{(v)} = \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2KT}} \cdot dv$$

السؤال الثاني (24 درجة)

استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لطاقة الضخ P_p وطاقة ضخ العتبة P_{th} ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي ، ثم ارسم بيانياً تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

السؤال الثالث (14 درجة)

عدد الخصائص التقنية والمواصفات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم الأنواع المختلفة للمرنان من أجل استخدامه في الأجهزة الليزرية .

السؤال الرابع (20 درجة)

تحدّث عن الليزرات الغازية التي تعمل في المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي، ثم اشرح مبدأ عمل ليزرات الأبخرة المعدنية.

==========

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

حمص 2015/7/15

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2013-2014

==========

السؤال الأول (10درجات)

أكتب العلاقات التي تعبّر عن عمليات الإصدار التلقائي ، الامتصاص والإصدار القسري باستخدام معاملات أينشتاين ثم استنتج أنّ معامل الإصدار القسري يساوي معامل الامتصاص وكذلك العلاقة التي تربط بين معامل الإصدار التلقائي ومعامل الإصدار القسري . وذلك إذا علمت أن قانون بلانك للإشعاع هو :

$$\rho_{(\upsilon)} = \frac{8\pi \cdot h \cdot \upsilon^3}{c^3} \cdot \left(\frac{1}{e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1} \right)$$

السؤال الثاني (25 درجة)

استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لكلّ من طاقة الضخ P_p وطاقة ضخ العتبة P_{th} ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي ، ثم ارسم بيانياً تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ P_p لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

السؤال الثالث (15 درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة امتداد المنبع الضوئي الذي تكون عنده الشدة الناتجة عن تداخل الأمواج الصادرة عنه أعظم ما يمكن

السؤال الرابع (20 درجة)

ماهي الميّزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الليزرات، ثم تحدّث بالتفصيل عن ليزر غاز الهليوم – نيون (He-Ne-Laser).

انتهت الأسئلة

مع الأمنيات بالنجاح

حمص 2014/2/9

مدرس المقرر

د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي ٢٠١٢-٢٠١٣

السؤال الأول (١٠ درجات)

استنتج العلاقة التي تعطي التعرّض في الخطوط الطيفية الليزرية الناتج عن مفعول دوبلر ، ثم ناقش علاقة هذا التعرّض بكل من درجة الحرارة والتردد، مع العلم أن توزع ماكسويل – بولتزمان لمجموعة من الذرات وفقاً لسرعاتها يعطى بالعلاقة :

$$g_{(v)} = \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot K \cdot T}} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2KT}}$$

السؤال الثاني (٢٥ درجة)

استنتج العلاقة التي تعطي معامل التضخيم لليزر ثم استنتج علاقة نسبة التضخيم لأشعة الليزر وكذلك مساحة مقطع عملية الاصدار القسري .

السؤال الثالث (١٥ درجة)

استنتج العلاقة التي تُعطي قيمة ترددات الاهتزازات الخاصة للمرنان الليزري المفتوح من النوع فابري-بيرو ، ثم استنتج مجال الترددات بين الاهتزازات الخاصة المتجاورة والمنتشرة وفقاً للمحور OZ .

السؤال الرابع (٢٠ درجة)

تحدث عن الأسس الفيزيائية لليزرات الجسم الصلب من حيث الوسط الليزري الفعّال ، عملية الضخ ، ثم اشرح خصائص ومبدأ عمل ليزر النيوديميوم-زجاج .

انتهت الأسئلة

مع الأمنيات بالنجاح

٢٠١٣/٦/٢٦

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : ٧٠ درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته – السنة الرابعة فيزياء
الفصل الثاني للعام الدراسي ٢٠١٠-٢٠١١

السؤال الأول (١٠ درجات) :

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة التعرض الطيفي في الخطوط الطيفية الليزرية مع العلم أن تابع توزع الترددات الذي يعطي احتمال وجود تردد ω هو:

$$g_{(\omega)} = \frac{\frac{\gamma}{2\pi}}{(\omega-\omega_0)^2+\left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}$$

السؤال الثاني (٢٠ درجة) :

استخرج العلاقة التي تعطي طاقة الخرج الليزرية وذلك كتابع لطاقة الضخ P_p وطاقة ضخ العتبة P_{th} ، ثم استنتج درجة التأثير التفاضلية وناقش ذلك في حالة الليزر المثالي . ثم ارسم بيانيا تابعية طاقة الخرج الليزرية لطاقة الضخ لكل من الليزر الحقيقي والليزر المثالي .

السؤال الثالث (١٠ درجات):

عدد أنواع الخسارات التي تعاني منها الأشعة الكهرطيسية ضمن المرنان ، ثم استنتج العلاقة التي تحدد معامل جودة وكفاءة المرنان Q_c .

السؤال الرابع (١٥ درجة) :

استنتج العلاقة التي تعطي قيمة امتداد المقطع العرضي الذي تكون عنده شدة التداخل الناتجة أعظم ما يمكن .

السؤال الخامس (١٥ درجة) :

ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية بالمقارنة مع ليزرات الجسم الصلب ، ثم اشرح مبدأ عمل ليزر-الإكسيمر مع كتابة مخطط إثارة ليزر KrF^* عند استخدام الأشعة الإلكترونية وكذلك طريقة الإنفراغ الكهربائي .

انتهت الأسئلة
مع الأمنيات بالنجاح

حمص في ٢٠١١/٦/١٢

مدرس المقرر
د. مالك يونس

جامعة البعث
كلية العلوم
قسم الفيزياء

الاسم :
المدة : ساعتان
العلامة : 70 درجة

أسئلة مقرر فيزياء الليزر وتطبيقاته ـ السنة الرابعة فيزياء
الفصل الأول للعام الدراسي 2009-2010

السؤال الأول (16 درجة) :

استنتج العلاقة التي تعطي الطاقة المتبادلة بين حقل الاشعاع الخارجي والذرة ، ثم ناقش ذلك في الحالتين التي تكون فيهما الطاقة موجبة أو سالبة .

السؤال الثاني (20 درجة):

اذا علمت أن معادلات النمذجة لليزر رباعي المستوى هي :

$$\frac{dn}{dt} = -c \cdot p \cdot n - \Gamma \cdot n + W_p (n_{tot} - n)$$

$$\frac{dp}{dt} = p\left(\sigma \cdot c \cdot n - \frac{1}{\tau_{ph}}\right)$$

والمطلوب : ناقش الحلول المستقلة عن الزمن والتي تعبّر عن حالة العمل المستقر لليزر ثم ارسم الخط البياني الذي يمثل تغير كثافة الفوتونات كتابع لنسبة الضخ .

السؤال الثالث (14 درجة) :

عدد الخصائص التقنية والمواصفات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم الأنواع المختلفة للمزنان من أجل استخدامه في الأجهزة الليزرية .

السؤال الرابع (20 درجة) :

ماهي الميزات التي تتمتع بها الليزرات الغازية بالمقارنة مع بقية الليزرات ، ثم اشرح الأسس الفيزيائية لليزرات الغازية من حيث الوسط الليزري الفعّال وعملية الضخ .

انتهت الأسئلة

مع الأمنيات بالنجاح

مدرس المقرر

د. مالك يونس