كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الليزر

المحاضرة : الأولى والثانية /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

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

الإصدار القسري والإصدار التلقائي للأشعة الكهرطيسية:

يعتبر الليزر نوع معين من الأشعة الكهرطيسية (الضوء) يحقق مجموعة من الشروط الفيزيائية كما سنجد لاحقاً والليزر هو اختصار للعبارة الانكليزية التالية:

Light Amplification (تضخيم) by stimulated Emission (القسري) of Radiation (للاشعاع)

وكلمة ليزر عالمياً هي الأحرف الأولى من هذه العبارة Laser وتعني باللغة العربية: تضخيم الضوء بواسطة الإصدار القسري (المحثوث) للاشعاع

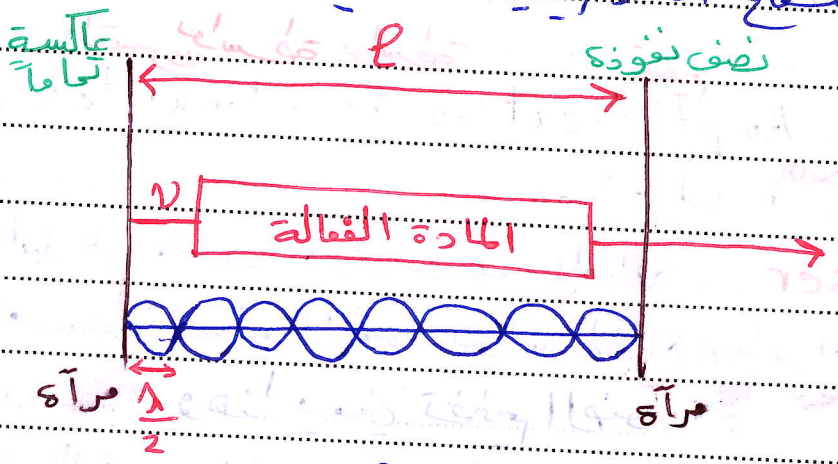
تضخيم الضوء: هو ظاهرة فيزيائية تستخدم لزيادة شدة أو طاقة الضوء نتيجة تحفيز الذرات المثارة لإصدار فوتونات جديدة لها نفس ترددات (توترات) وأطوال أمواج وطور وسعة الضوء الأساسي.

المعادلة الأساسية التي تعبر عن الليزر هي التالية:

ليزر ← تضخيم ← إصدار قسري ← انقلاب كاني ← ضخ

في عام 1917 نشر اينشتاين عمل بعنوان الإصدار القسري والإصدار التلقائي للأشعة الكهرطيسية ويعتبر هذا العمل هو الأساس النظري لاكتشاف الليزر فيما بعد عام 1960 حيث اعتبر انشتاين أن مجموعة الذرات المدروسة عبارة عن سويتي طاقة E_2 ، E_1 وأن $E_2 > E_1$ حيث E_1 سوية الطاقة الأرضية الأساسية

(عبر المثارة) وأن E^2 سوية الطاقة المثارة (مرضية، مهيبة)
واعتبر أينشتاين أيضاً أن مجموعة الذرات في حالة توازن
ترمودينامكي مع الوسط المحيط والتوازن الترمودينامكي يعين فيزيائياً
أن الذرات مستقرة من الناحية الحرارية والميكانيكية والكيمائية والإشعاعية
مع الوسط المحيط بها واعتبر أن هذه الذرات موجودة في تجويف
ليزري (رنان أو تجويفة رنانة) مؤلفة من مرآتين إحداهما عاكسة
تماماً للإشعاع الكهرطيسي والثانية نصف نفوذة



$$\ell = n \frac{\lambda}{2}$$

$$\ell = 7 \frac{\lambda^2}{2}$$

نسمي كل موجة مستقرة داخل التجويفة الرنانة (الرنان) بنوع اهتزاز
معين أو نمط ويعطى عدد الأنماط (الأنواع المستقرة) داخل الرنان
بالعلاقة التالية:

$$N(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \quad \ldots(1)$$

حيث ν: تواتر الإشعاع الكهرطيسي

c: سرعة الضوء في الخلاء و $c = 3 \times 10^8 \, m.s^{-1}$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

نلاحظ من العلاقة (1) أن واحدة قياس $N(\nu)$ في الجملة الدولية SI كما يلي:

$$[N(\nu)]_{SI} = \frac{(S^{-1})^2}{(m.S^{-1})^3} = \frac{S^{-2}}{m^3.S^{-3}} = \frac{1}{m^3 S^{-1}}$$

$$= \frac{1}{m^3} \cdot \frac{1}{S^{-1}}$$

وهذا يعني أن $N(\nu)$ هو عدد الأنماط في واحدة الحجم وواحدة التواتر.

وتعطى الطاقة الوسطى للنمط بالعلاقة التالية:

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad \ldots(2)$$

حيث h: ثابت بلانك $h = 6,62 \times 10^{-34}\ J.S$

ν: تواتر الإشعاع الكهرطيسي داخل الجرثان

k: ثابت بولتزمان $k = 1,38 \times 10^{-23}\ J.K^{-1}$

T: درجة الحرارة المطلقة داخل الجرثان

نلاحظ $\bar{E}$ واحدة قياسها في الجملة الدولية SI

$$[\bar{E}]_{SI} = \frac{J.S.S^{-1}}{e^{J.S.S^{-1}/J.K^{-1}.K}} = J$$

تعطى كثافة الطاقة الإشعاعية $\rho(\nu)$ داخل التجويفة الرنانة في واحدة الحجم وواحدة التواتر بجداء عدد الأنماط في واحدة الحجم وواحدة التواتر $N(\nu)$ في الطاقة الوسطى للنمط

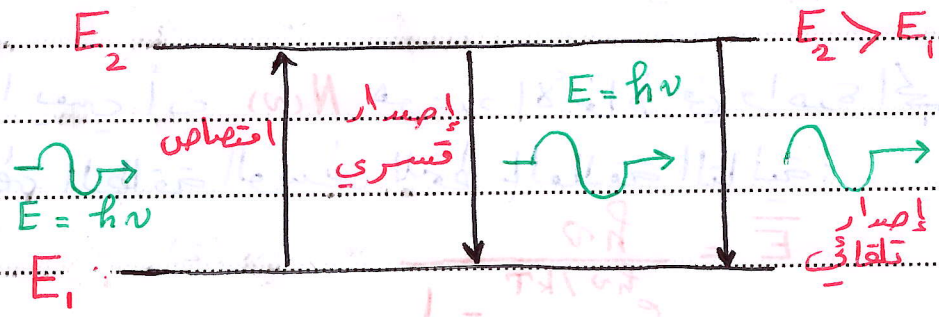
$$\rho(\nu) = N(\nu).\bar{E} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad \ldots(3)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ثوابت اينشتاين في الإصدار القسري والتلقائي للإشعاع الكهرطيسي:

الامتصاص:

لنفرض أن لدينا مجموعة من الذرات تتألف من سويتي طاقة E_1 و E_2 بحيث $E_2 > E_1$ كما في الشكل



عندما يرد فوتون خارجي بطاقة معينة $E=h\nu$ فأن الذرة المستقرة في الحالة (1) تنتقل إلى الحالة (2) وتصبح مثارة بعد أن تمتص طاقة الفوتون الخارجي $E=h\nu$.

الإصدار القسري:

عند ورود فوتون طاقته $E=h\nu$ يجبر الذرة المثارة إلى العودة من الحالة (2) إلى الحالة (1) وتصدر طاقة مقدارها

$$E = h\nu = E_2 - E_1$$

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad \dots (1)$$

مع العلم أن الذرة المثارة (المهيجة) تبقى في وضع الإثارة زمن من مرتبة $10^{-8}s$

$$10^{-8}s = 10^{-8}\,10^{9}\,ns = 10ns$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الإصدار التلقائي :

قد تعود الذرة المثارة من الحالة (2) إلى الحالة (1) تلقائياً دون الحاجة إلى طاقة خارجية وينطلق فوتون أيضاً لكن ليس من الضروري أن يكون له نفس تواتر الفوتون الكارهي المؤثر على مجموعة الذرات

ثوابت اينشتاين :

نعرف الثوابت الفيزيائية التالية

1- ثابت الإصدار التلقائي : A_{21} [ثابت انتقال الذرة من الحالة (2) إلى الحالة (1)]

ويمثل احتمال انتقال الذرة من الحالة (2) إلى الحالة (1) وإصدار فوتون دون الحاجة إلى طاقة إشعاعية خارجية ثابت

2- ثابت الإصدار القسري : B_{21} [انتقال الذرة من الحالة (2) إلى الحالة (1)]

ويمثل احتمال انتقال الذرة من الحالة (2) إلى الحالة (1) قسرياً وإصدار فوتون له نفس تواتر وطول موجة وطور واتجاه الفوتون الوارد أي له نفس تواتر الطاقة الإشعاعية $\rho(\nu)$ في واحدة الحجم وواحدة التواتر حيث أن $\rho(\nu)$ تساوي

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$[\rho(\nu)]_{SI} = \frac{1}{m^3} \cdot \frac{1}{s^{-1}} \cdot J \Rightarrow [\rho(\nu)]_{SI} = \frac{J}{m^3 \cdot s^{-1}}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

3- ثابت الامتصاص : B_{12} [الانتقال من الحالة (1) إلى الحالة (2)]
ويمثل احتمال أن تمتص الذرة الموجودة في الحالة (1) طاقة مقدارها $E = h\nu$ وتنتقل إلى الحالة المثارة (2)

4- المقدار : $R_1 = N_1 B_{12} P(\nu)$ هو معدّل الامتصاص
ويمثل عدد الذرات المستقرة الموجودة في الحالة (1) التي تمتص فوتونات وتنتقل إلى الحالة المثارة (2) في كل ثانية
ويقاس هذا المقدار بـ S^{-1}

N_1 : عدد الذرات في المستوى E_1
$P(\nu)$: كثافة الطاقة الاشعاعية الخارجية المؤثرة على الذرات
B_{12} : ثابت الامتصاص

5- المقدار : $R_2 = N_2 B_{21} P(\nu)$ هو معدل الإصدار القسري
ويمثل عدد الذرات الموجودة في الحالة (2) والتي تنتقل إلى الحالة (1) قسرياً أي تحت تأثير الطاقة الاشعاعية الخارجية $P(\nu)$ في واحدة الزمن (في الثانية) ويقاس هذا المقدار بـ S^{-1}
B_{21} : ثابت الإصدار القسري

6- المقدار : $R_2 = N_2 A_{21}$ وهو معدل الإصدار التلقائي
ويمثل عدد الذرات التي تنتقل من الحالة (2) إلى الحالة (1) تلقائياً دون الحاجة إلى طاقة إشعاعية خارجية

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

في حالة التوازن الترموديناميكي فأن عدد الذرات المنتقلة من الحالة (1) إلى الحالة (2) يساوي عدد الذرات المنتقلة من الحالة (2) إلى الحالة (1) بمعنى عدد الذرات الصاعدة يساوي عدد الذرات الهابطة

هذا يعني أن: $R_1 = R_2 + R'_2$ ... (2)

بتعويض الثوابت (4) و (5) و (6) في (2)

$$N_1 B_{12} \rho(\nu) = N_2 B_{21} \rho(\nu) + N_2 A_{21} \quad \dots (3)$$

أن عدد الذرات الموجودة في مستوي الطاقة E_i يتناسب طرداً مع عدد الذرات في واحدة الحجم N_0 ومع المقدار $e^{-E_i/kT}$ حسب قانون توزع بولتزمان. هذا يعني أن عدد الذرات N_i في المستوي الطاقي E_i يعطى كما يلي:

$$N_i \sim N_0 e^{-E_i/kT} \iff N_i = c N_0 e^{-E_i/kT}$$

k: ثابت بولتزمان ، c: ثابت التناسب

T: درجة حرارة الوسط الذي ادرس الطاقة

$$\Rightarrow N_1 = c N_0 e^{-E_1/kT} \quad (4) \dots, \quad N_2 = c N_0 e^{-E_2/kT} \quad \dots (5)$$

نبدل (4) و (5) في (3):

$$c N_0 e^{-E_1/kT} B_{12} \rho(\nu) = c N_0 e^{-E_2/kT} B_{21} \rho(\nu) + c N_0 e^{-E_2/kT} A_{21}$$

$$B_{12} e^{-E_1/kT} \rho(\nu) = \left[B_{21} \rho(\nu) + A_{21} \right] e^{-E_2/kT} \quad \dots (6)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

إذا كانت هذه العلاقة صحيحة من أجل جميع درجات الحرارة فإنه عندما

عندما $T \to \infty \Rightarrow e^{-E_i/kT} \to 1$

نعوض في (6)

$$(6) \Rightarrow B_{12}\rho(\nu) = B_{21}\rho(\nu) + A_{21} \Rightarrow B_{12} = B_{21} + \frac{A_{21}}{\rho(\nu)} \quad \ldots(7)$$

$$T \to \infty \Rightarrow \rho(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} \xrightarrow{\text{يتناهى إلى}} \infty$$

$$(7) \Rightarrow B_{12} = B_{21} + \frac{A_{21}}{\infty} \Rightarrow B_{12} = B_{21} \quad \ldots(8)$$

والعلاقة (8) تعني أنه في حالة التوازن الترموديناميكي فإن شابت الامتصاص B_{12} يساوي شابت الاصدار B_{21} لذلك نعوض بالعلاقة (6):

$$B_{21}e^{-E_1/kT}\rho(\nu) = \left[B_{21}\rho(\nu) + A_{21}\right]e^{-E_2/kT}$$

$$\Rightarrow B_{21}\rho(\nu) + A_{21} = B_{21}e^{(E_2-E_1)/kT}\rho(\nu)$$

$$A_{21} = B_{21}\rho(\nu)\left[e^{(E_2-E_1)/kT} - 1\right]$$

$$\overset{(11)\text{حسب}}{=} B_{21}\frac{8\pi\nu^2}{c^3}\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}\left[e^{h\nu/kT} - 1\right]$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= B_{21} \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{\lambda^3 \nu^3} \quad , \quad \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \quad ...(*)$$

العلاقة (*) تمثل النسبة بين ثابت الإصدار التلقائي A_{21} وثابت الإصدار القسري B_{21} واللّيزر كما مر معنا بالتعريف هو تضخيم الضوء بواسطة الإصدار القسري للإشعاع بمعنى يجب أن يكون الإصدار القسري للإشعاع (للفوتونات) أكبر بكثير جداً من الإصدار التلقائي للإشعاع بمعنى $A_{21} \ll\ll B_{21}$ نحصل على جودة عالية لليزر أي نحصل على فوتونات كثيرة لها نفس تردد (تواتر) وطول موجة وطور الفوتون الوارد نتيجة الضخ

تمرين: ليزر هليوم - نيون (He-Ne) يعطي بشعاع ليزر مستمر (CW) طول موجته $\lambda = 632,8\ nm$ والمطلوب:

أولاً - احسب تواتر إشعاع الليزر (تردد الفوتون) ثم احسب طاقة هذا الفوتون

ثانياً: هل جودة الليزر عالية أم منخفضة.

الحل:

أولاً:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.10^8\ m.s^{-1}}{632,8\ nm} = \frac{3.10^8\ m.s^{-1}}{632,8 \times 10^{-9}\ m}$$

$$= 0,0047.10^{17}\ s^{-1} = 47 \times 10^{13}\ s^{-1}$$

$$E = h\nu = 6,62 \times 10^{-34}\ J.s \cdot 47 \times 10^{13}\ s^{-1} = 311 \times 10^{-21}\ J$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ثالثاً:

لمعرفة جودة الليزر هل يمكن نقارن بين الثابتين A_{21} و B_{21}

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h}{\lambda^3} = \frac{8(3,14)\ 6,62.10^{-34}\ J.s}{(632,8.10^{-9}\ m)^3}$$

$$= 66.10^{-15}\ J.m^{-3}.s$$

هذا يعني $A_{21} \lll B_{21}$ شعاع المنبعث.

وبالتالي مردود الليزر عالي جداً أي جودة الليزر عالية جداً

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z