

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

أشعة الليزر

الامتصاص والإصدار التلقائي والإصدار المحثوث، وخواص حزمة الليزر، ومكونات جهازه: الوسط الفعّال وحجرة التضخيم والضخ

الإلكترونيات والجسم الصلب . الوحدة 4 . الدرس 7

دخلت أشعة الليزر في كثيرٍ من المنتجات: في تشغيل الأقراص المدمجة، وفي الاتصالات، وقياس أبعاد الأجسام الفضائية، وقطع المعادن ولحامها، وطبّ العيون والأسنان. فما الليزر، وما الذي يميّزه عن مصادر الضوء الأخرى؟ كلمة الليزر اختصارٌ لعبارةٍ إنكليزيةٍ معناها تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للأشعة، وعلى ظاهرة الإصدار المحثوث يستند عمله. نتابع مع الكتاب في الصفحات 234 إلى 240.

ما الليزر؟

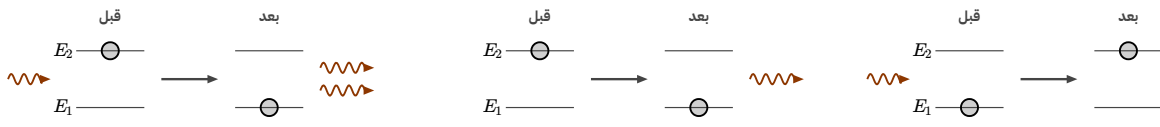
تذكّر: الليزر «عبارة عن إشعاعٍ كهربيسيّ يرسلُ كمّياتٍ من الضوء مُتساويةً من حيثُ التّواترِ والطّورِ تظهرُ على هيئةِ حزمةٍ ضوئيةٍ تتّسمُ بالطّاقةِ العاليةِ ذاتِ تماسكٍ شديد.» الكتاب، الصفحة 239.

لنأخذ مادّة ذات نظامٍ ذريّ له سويّتان للطاقة: سويّة دنيا E_1 وسويّة مثارة E_2 ، ويسمّيهما الكتاب هنا مستويين. بين السويّتين ثلاثة انتقالات ممكنة، وأحدها هو أساس الليزر. الكتاب، الصفحة 235.

الامتصاص والإصدار التلقائي والإصدار المحثوث

1. امتصاص الضوء: تنتقل الذرّة من السويّة الدنيا E_1 إلى السويّة المثارة E_2 بامتصاص فوتونٍ طاقته تساوي فرق الطاقة بين السويّتين. 2. الإصدار التلقائي: الذرّة المثارة تميل دائماً إلى حالة الاستقرار، فتعود تلقائياً بعد مدّة زمنيّة قصيرة إلى السويّة الدنيا، ويصاحب ذلك إصدار فوتون. اتّجاه هذا الإصدار عشوائيّ، والفوتونات الصادرة غير مترابطة، أي فرق الطور بين الأمواج غير ثابت. 3. الإصدار المحثوث: حين يمرّ فوتونٌ تواتره يحقّق العلاقة نفسها بجوار ذرّة مثارة، يحفّز إلكترون الذرّة على العودة إلى السويّة الدنيا، فيصدر فوتونٌ آخر طاقته تساوي طاقة الفوتون الوارد، وجهة حركته جهة الفوتون الوارد، وطوره طور الفوتون الوارد. الكتاب، الصفحتان 235 و 236.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h f$$



3. الإصدار المحثوث: فوتون وارد يحفز العودة، فيخرج فوتونان متماثلان في التواتر والجهة والطور.

2. الإصدار التلقائي: تعود الذرة المثارة وحدها، ويصدر فوتون في جهة عشوائية.

1. الامتصاص: يُمتصّ الفوتون الوارد، تنتقل الذرة إلى السوية المثارة.

الانتقالات الثلاثة بين سويتين، الكتاب، الصفحة 235. الرسم من عندنا.

الفرق بين الإصدارين، الكتاب، الصفحة 236: الإصدار التلقائي يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة أو بعدم وجودها، وفي جميع الاتجاهات، وطور الفوتون الصادر يمكن أن يأخذ أي قيمة. أما الإصدار المحثوث فيحدث بوجود حزمة ضوئية تواترها يحقق $\Delta E = h f$ ، وجهة الفوتون الصادر هي جهة الفوتون الوارد، وطروره يطابق طور الفوتون الوارد.

فوتون يمر بجوار ذرة مثارة، فتصدر الذرة فوتوناً له تواتر الفوتون الوارد وجهته وطروره. هذا:

كيف أبدأ؟ هل احتاج الإصدار إلى فوتون وارد؟

(أ) إصدار تلقائي

(ب) إصدار محثوث

(ج) امتصاص

ب. نعم: الكتاب، الصفحة 236.

الإصدار التلقائي:

كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 236، الجدول.

(أ) لا يحدث إلا بوجود حزمة ضوئية واردة

(ب) يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة أو بعدم وجودها، وفي جميع الاتجاهات

(ج) فوتوناته مترابطة بالطور

ب. نعم: الذرة المثارة تعود وحدها.

خواص حزمة الليزر

لحزمة الليزر ثلاث خواص، الكتاب، الصفحة 236: 1. وحيدة اللون، أي لها التواتر ذاته. 2. مترابطة بالطور: فوتونات الإصدار المحثوث لها طور الفوتون الذي حثها نفسه. 3. انفراج حزمة الليزر صغير، أي لا يتوسع مقطع الحزمة كثيراً عند الابتعاد عن منبع الليزر، لذلك تُستخدم في دقة القياس، وتخطيط الشوارع، وخطوط نقل النفط والغاز والماء لمسافات بعيدة.

لا تتحلل حزمة الليزر عند إمرارها عبر مؤشر زجاجي، الكتاب، الصفحة 240. فسر:

| كيف أبدأ؟ المؤشر يفصل الألوان المختلفة.

(أ) لأنها وحيدة اللون، لها تواتر واحد

(ب) لأن انفراجها صغير

(ج) لأن طاقتها عالية

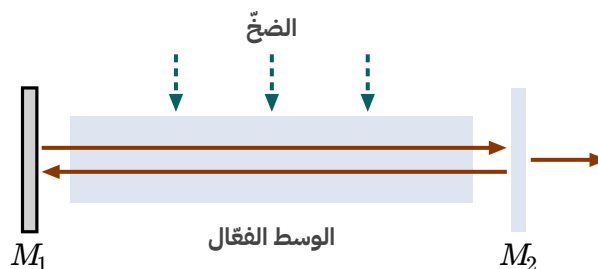
أ. نعم: لا ألوان فيها ليفصلها المؤشر.

مكونات جهاز الليزر

1. الوسط الفعّال، الكتاب، الصفحة 237: يحتوي عدداً كبيراً من الذرات، ولكل ذرة سوية أساسية وسوية مثارة بينهما فرق الطاقة ΔE . نفرض أن عدد الذرات في السوية المثارة N^* ، وعددها في السوية غير المثارة N . إذا عبرت حزمة ضوئية تواترها f بحيث $\Delta E = hf$ ، فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طردياً مع N ، وإصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب طردياً مع N^* .

إذا كان $N < N^*$ فإن عدد الفوتونات الناتجة عن الإصدار المحثوث أكبر من عدد الفوتونات التي جرى امتصاصها، فتزداد شدة الحزمة بعد عبورها الوسط، ونقول إن الوسط مضخم يصلح لتوليد الليزر. وإذا كان $N > N^*$ نقصت شدة الحزمة بعد عبورها الوسط، ولا يمكن للوسط أن يولد الليزر.

2. حجرة التضخيم، أو المرنان: مرأتان يوضع الوسط المضخم بينهما، تعيد كل منهما الحزمة إليه بالانعكاس. إحدى المرأتين عاكسة كاملة، والثانية عاكسة غير كاملة يخرج منها جزء من الحزمة يشكل الليزر. وكلما مرّت الحزمة في الوسط ازداد عدد الإصدارات المحثوثة المتفقة معها في الاتجاه والتواتر والطور، فتزداد طاقتها، أي تُضخم. الكتاب، الصفحة 237.



حجرة التضخيم: المرآة العاكسة كاملة M_1 ، والمرآة العاكسة غير الكاملة M_2 تخرج منها حزمة الليزر، وبينهما الوسط الفعّال يُضخّ من الخارج. الكتاب، الصفحة 237. الرسم من عندنا.

3. جملة الضخ: الإصدار المحثوث يعيد الذرات إلى السوية الأساسية، فلا بدّ من مؤثر خارجي يقدّم الطاقة للوسط المضخم فيثير الذرات من جديد، الكتاب، الصفحتان 237 و 238. وطرق الضخ ثلاث: الضخّ الضوئي بمصابيح ومّاضة، كما في الليزر الياقوتي؛

والضخّ الكهربائي، ويكون في الليزر الغازية بالانفراغ الكهربائي في الغاز داخل الأنبوب، ويُستعمل أيضاً في ليزر نصف الناقل؛ والضخّ الكيميائي، حيث يكون التفاعل الكيميائي بين مكّونات الوسط الفعّال أساس توليد الطاقة.

انتبه: لا تضخيم من دون $N > N^*$: لو كانت الذرات غير المثارة أكثر، لامتصّ الوسط فوتوناتٍ أكثر ممّا يُصدر بالإصدار المحثوث.

متى يضخّم الوسط الفعّال الحزمة الضوئية التي تعبره؟

كيف أبدأ؟ قارن الامتصاص الذي يتناسب مع N بالإصدار المحثوث الذي يتناسب مع N^* .

(أ) $N > N^*$

(ب) $N = N^*$

(ج) $N^* > N$

ج. نعم: الإصدار المحثوث يغلب الامتصاص، الكتاب، الصفحة 237.

لا يمكن الحصول على وسطٍ مضخّم من دون استخدام مؤثّر خارجي، الكتاب، الصفحة 240. فسّر:

كيف أبدأ؟ إلى أين يعيد الإصدار المحثوث الذرات؟

(أ) لأنّ المرأتين تمتصّان الفوتونات

(ب) لأنّ الوسط الفعّال يبرد فيتوقّف الإصدار

(ج) لأنّ الإصدار المحثوث يعيد الذرات إلى السويّة الأساسيّة، فيلزم إثارتها من جديد

ج. نعم: الضخّ يعوّض الذرات التي عادت، الكتاب، الصفحة 237.

لماذا تكون إحدى مرآتي حجرة التضخيم عاكسة غير كاملة؟

كيف أبدأ؟ من أين تخرج الحزمة؟

(أ) ليخرج منها جزءٌ من الحزمة يشكّل الليزر

(ب) لتمتصّ الفوتونات الزائدة

(ج) لتقدّم الطاقة للوسط الفعّال

أ. نعم: الكتاب، الصفحة 237.

أنواع الليزر واستخداماته

من أنواع الليزر، الكتاب، الصفحة 238: الليزر الغازية، يكون الوسط المضخّم فيها غازياً، مثل ليزر الهيليوم والنيون الذي يُستخدم في المخابر، وتُثار ذراته بالانفراغ الكهربائي. ويذكر الكتاب طول موجته $0.638 \mu\text{m}$ ، والقيمة المعتادة له $0.633 \mu\text{m}$. والليزر الصلبة، ومنها ليزر نصف الناقل، يكون الوسط المضخّم فيه مادّة نصف ناقلة، ويُستخدم في

الاتّصالات. والليزر الياقوتيّ، وسطه الفعّال مادّة الياقوت. والليزرات السائلة، ويذكر الكتاب لها كلوريد الألمنيوم المذاب في الكحول الإيثيليّ وسطاً فعّالاً.

ومن استخداماته، الكتاب، الصفحة 238: الطبّ، ولا سيّما طبّ العيون والعمليّات الجراحية والجلد؛ وإظهار الصور ثلاثيّة الأبعاد، وتسمّى الهولوجرام؛ والتحليل الطيفيّ والأقراص المدمجة ومؤشّرات الليزر ومساحات الباركود؛ ولحام المعادن وقصّها وثقبها في الصناعة؛ ومراقبة تلوث الجوّ؛ وتحديد المدى في المجالات العسكريّة؛ والاتّصالات اللاسلكيّة بين المحطّات الأرضيّة وسفن الفضاء.

يُضخّ الليزر الياقوتيّ:

| **كيف أبدأ؟** الكتاب، الصفحة 238، طرق الضخّ الثلاث.

أ) كهربائيّاً بالانفراغ الكهربائيّ في الغاز

ب) ضوئيّاً بمصباح ومّاض

ج) كيميائيّاً من دون مصدر طاقةٍ خارجيّ

ب. نعم: الضخّ الضوئيّ، الكتاب، الصفحة 238.

المصدر: الفيزياء، الصفحات 234 إلى 240 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.