# كلية طب الأسنان

# مقرر
# الليزر في طب الأسنان
# (DEFE701)
(المحاضرة الأولى)

الفصل الدراسي الأول

**2025-2026**

د. محمد معلا

# فهرس المحاضرة


1. تاريخ اكتشاف الليزر.
2. تفاعل الإشعاع (الأمواج الكهرطيسية) مع ذرات المادة.
   - الإمتصاص.
   - الإصدار التلقائي.
   - الإصدار المحثوث.
3. مكونات الليزر.
4. أنواع الليزر.
   - ليزرات الحالة الصلبة.
   - ليزرات أنصاف النواقل.
   - الليزرات الغازية.

# مدخل إلى الليزر

# Introduction to Laser

يعتبر علم الليزر أحد أهم فروع الفيزياء الحديثة، نظراً لتعدد استخداماته وتطبيقاته في مختلف مجالات الحياة العلمية والصناعية، ويعود اكتشاف الليزر إلى ستينيات القرن الماضي في مخابر الولايات المتحدة الأمريكية.

يعتبر الفيزيائي الألماني الشهير آلبرت آينشتاين أول من وضع الأسس النظرية التي يقوم عليها مبدأ عمل الليزر من خلال دراساته التي أفضت إلى تفسير المفعول الكهروضوئي Photoelectric الذي اعتبر إثباتاً علمياً للطبيعة الجسيمية للضوء وبالتالي أصبح الضوء ذو طبيعة مثنوية (موجة وجسيم) بعد أن كان ينظر إليه على أنه موجة فقط. كما قام آينشتاين بدراسة تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية (الضوء) مع المادة وصياغة هذه التفاعلات ضمن قوانين رياضية شهيرة جداً دعيت بمعادلات آينشتاين، حيث تتنبأ هذه المعادلات نظرياً بوجود ما يعرف بظاهرة الإصدار المحثوث للإشعاع ( Stimulated Emission of radiation) وهو أساس عمل جهاز الليزر.

في عام 1955 اقترح عالمان فيزياء روسيان (Prokhorov and Basov) استخدام ما يعرف بالضخ الضوئي (Optical pumping) للحصول على التوزيع المقلوب للإلكترونات والذي يعتبر حالياً أحد أهم شروط الحصول على ضوء الليزر. أما بالنسبة للتاريخ الفعلي لاكتشاف الليزر فكان عام 1960 حيث تمكن الفيزيائي الأمريكي الشهير (Theodore Maiman) من توليد أول ضوء ليزر في المجال المرئي وذلك باستخدام قضيب من الياقوت مشوب بأيونات الكروم حيث تم تأمين طاقة الضخ الضرورية لإثارة الأيونات باستخدام مصباح كهربائي مملوء بغاز الكزينون تم لفه حول القضيب، فكانت النتيجة الحصول على نبضات فائقة القصر من ضوء أحمر نقي يعتبر الأول من نوعه في العالم. وفي نفس العام تمكن عالم فيزياء أمريكي (William Bennett) وتلميذه طالب الدكتوراه الإيراني (Ali Javan) من تصنيع أول ليزر مستمر باستخدام مزيج من غازي الهيليوم والنيون.

بعد عدة سنوات تم تصنيع أنواع جديدة من الليزرات باستخدام أنصاف نواقل (ليزرات أنصاف نواقل) بالإضافة إلى تصنيع ليزر $CO_2$ الذي يعتبر من أشهر أنواع الليزرات وأكثرها شيوعاً في الجراحة الطبية.

تشير كلمة ليزر **LASER** إلى تضخيم الضوء بواسطة الإصدار المحثوث للإشعاع الكهرطيسي، وهي اختصار للمصطلح الفيزيائي (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation).

يشمل ضوء الليزر عدة أطوال موجية (ليس المجال المرئي فقط) كمجال الأشعة تحت الحمراء IR والأشعة فوق البنفسجية UV، ولكن هذا لا يعني أنه من غير الممكن توليد الليزر في مجالات طيفية أخرى.

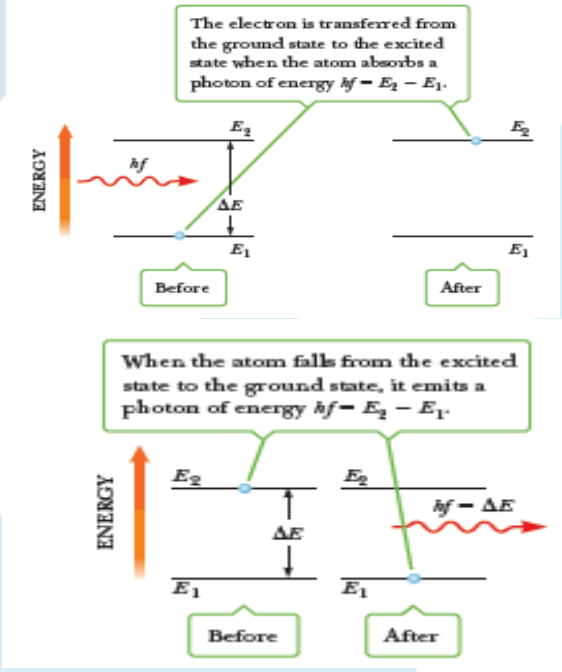
يدعى الليزر المولد في الأطوال الموجية الأكبر (المجالات الميكروية والراديوية) بالميزر وهو اختصار للمصطلحات الآتية **MASER** (**M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation).

**تفاعل الإشعاع (الامواج الكهرطيسية) مع ذرات المادة**: بينت الدراسات التجريبية وجود ثلاث أنواع من التفاعلات وهي: الامتصاص، الإصدار التلقائي والإصدار المحثوث.

**الامتصاص Absorption**: تقوم في هذه الحالة ذرات المادة بامتصاص فوتونات الضوء الساقط عليها وبالتالي ارتفاع الإلكترونات من سوية طاقية دنيا إلى السوية الطاقية المثارة، أي أن الإلكترونات وبالتالي الذرة تصبح مثارة طاقياً، يشترط لحدوث الامتصاص ان تكون طاقة الفوتونات مساوية لفرق الطاقة بين السويتين الطاقيتين الدنيا والعليا. أما في حال كون طاقة الضوء الساقط أقل من الحد المطلوب لإثارة إلكترونات المادة، لن يكون هناك أي امتصاص وتكون المادة شفافة للضوء الساقط كما هي حال عبور الضوء المرئي للزجاج.

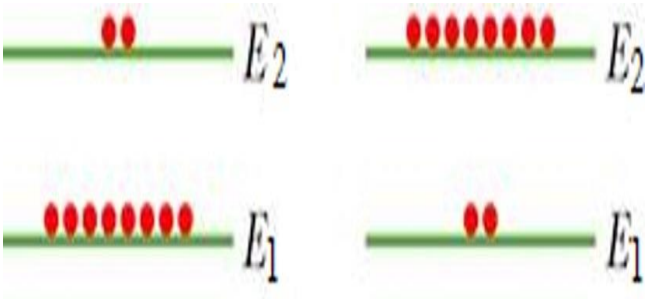
**الإصدار التلقائي Spontaneous Emission**: هو المرحلة التالية لعملية الإمتصاص، حيث يؤدي عودة الإلكترونات المثارة إلى السوية الطاقية الدنيا (الأساسية) إلى إصدار فوتونات (إشعاع كهرطيسي) بتواترات مختلفة بفعل الهبوط التلقائي (العشوائي) للإلكترونات من المدارات المختلفة باتجاه المدار القاعدي (السوية الطاقية الدنيا)، لذلك يدعى الضوء الصادر بالضوء غير المترابط، وهو حال كافة المنابع الضوئية في حياتنا العملية.

**الإصدار المحثوث Stimulated Emission**: يعتمد إصدار الليزر على مبدأ الإصدار المحثوث (الشكل1)، وهو عبارة عن عملية إصدار كهرطيسي مدعومة بعملية إصدار محثوث. يتم في عملية الإصدار الكهرطيسي إصدار فوتون من ذرة تم إثارتها عن طريق تقديم طاقة خارجية بغية رفعها من سوية طاقية دنيا إلى سوية طاقية عليا، أي تتم عملية الإصدار بفعل فوتون وارد خارجي (محرض) تواتره مساوي لتواتر الفوتون الصادر (المتحرض).




**الشكل 1**: مبدأ الإصدار المحثوث في الليزر.

بغية تحقيق الإصدار المحثوث وبالتالي تحقق الليزرة ينبغي في البدء تحقيق شرط هام جداً يعرف بالإنقلاب الإسكاني Population Inversion (الشكل2)، قلب توزع الذرات المثارة خارج حالة التوازن الحراري، أي يجب أن يكون عدد الذرات في حالة الإثارة أكبر منه في الحالة الطبيعية. بينت الدراسات النظرية بأن احتمال قيام إشعاع وارد بتحريض عملية الإصدار المحثوث في جسم ما متوازن حرارياً هي شبه معدومة، لأن الإصدار المحثوث تزداد نسبته بازدياد عدد الذرات المثارة.

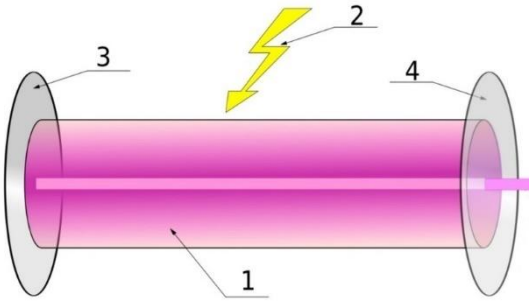



**الشكل 2**: توزع طبيعي للذرات في جسم ما (يساراً)، وعملية انقلاب إسكاني (يميناً).

## مكونات الليزر (Laser Parts)

يتكون جهاز الليزر، في الحالة العامة، من أربعة أقسام رئيسية (مضافاً إليها شعاع الليزر المتولد). يدعى القسم الأول وهو الأهم وسط الربح والثاني منبع طاقة الليزر (طاقة الضخ)، أما الثالث والرابع فهما عبارة عن مرآتين مختلفتي الشفافية (الشكل3).

بالنسبة لوسط الربح فهو الوسط الذي تتولد منه أشعة الليزر وهو عبارة عن مادة محفزة للإصدار المحثوث قد تكون صلبة أو سائلة أو غازية، تمتاز هذه المادة بامتلاكها عدد من المستويات الطاقية لتتحقق بينها الانتقالات الذرية الضرورية للحصول على ضوء الليزر. تتواجد هذه المادة ضمن تجويف أسطواني مصمت عالي الانعكاسية. يتحقق الانقلاب الإسكاني بواسطة منبع للطاقة قد يكون عبارة عن تيار كهربائي أو حتى منبع ليزري لتزويد إلكترونات وسط الربح بالطاقة الضرورية لانتقالها إلى السويات الطاقية الأعلى وتصبح بالتالي ذرات مثارة تمتلك نفس السوية الطاقية، بالتالي عند عودة هذه الإلكترونات المثارة آنياً إلى السوية الأساسية فإنها ستصدر الطاقة التي امتصتها على شكل فوتونات ضوئية تمتلك نفس التواتر والطول الموجي، أي أننا نحصل على ضوء وحيد اللون لأنه مكون من عدد هائل من الفوتونات بنفس الطول الموجي والتواتر وهو ما يعرف بالضوء النقي.




**الشكل 3:** الأقسام الرئيسية لليزر. 1. وسط الربح، 2. طاقة الضخ، 3. مرآة عاكسة كلياً، 4. مرآة شفافة نسبياً.

يحوي هذه التجويف مرآتين عاكستين مستويتين أو مقعرتين توضعان متقابلتان بحيث توضع المادة الفعالة (وسط الربح) بينهما، تكون المرآة الأولى شديدة الانعكاسية بحيث أنها تمنع نفاذ الضوء نهائياً، وأما المرآة الثانية فتكون شفافة نسبياً كي تتيح لشعاع الليزر النفاذ نحو الخارج عند شدة معينة. يتيح هذا الترتيب الهندسي للمرايا انعكاس الضوء الصادر ذهاباً وإياباً عابراً وسط الربح بشكل دائم، وهو ما يؤدي بدوره إلى تضخيم الضوء بشكل أكبر وعلى مراحل بالاعتماد على طريقة التغذية الراجعة وبالتالي ينشأ عن ذلك تداخلات بناءة بين هذه الامواج المنعكسة تنتج بالمحصلة موجة مستقرة ليزرية بتركيز وطاقة عاليين.

## أنواع الليزر (Laser types)

نظراً للتطبيقات العديدة لأجهزة الليزر في مختلف مجالات الحياة، فهناك عدد كبير جداً من الليزرات المستخدمة وبأطوال موجية مختلفة، حيث تشترك معظم الليزرات المستخدمة في المجالات الطبية بوقوعها ضمن المجالات الترددية الثلاث: المرئي (Visible)، تحت الأحمر بمجالاته الثلاث (NIR-MIR-FIR) وفوق البنفسجي بمجالاته الثلاث (UVA-UVB-UVC) (الشكل 4). تكون هذه الليزرات إما صلبة أو سائلة أو غازية بحسب نوع المادة الفعالة المستخدمة لتوليد الليزر. بالإضافة إلى نوع المادة الفعالة، تختلف أنواع الليزرات بحسب طريقة الضخ الضوئي أو طريقة التضخيم أيضاً. فقد يتم الضخ الضوئي باستخدام ضوء مرئي أو غير مرئي من مجالات الطيف الكهرطيسي أو عن طريق تمرير أو تفريغ التيار الكهربائي أو من خلال التفاعلات الكيميائية. أما تضخيم الضوء فيعتمد على نوع المادة الفعالة، ففي حالة الأجسام الصلبة قد يتم صقل أوجه الجسم الصلب أو يتم استخدام المرايا في حالة الغازات والسوائل، كذلك الأمر بالنسبة للمرايا المستخدمة فقد تكون مسطحة أو مقعرة بالإضافة إلى درجة الانعكاسية. في كل نوع من هذه الأنواع الرئيسية يوجد أنواع فرعية بخصائص مختلفة مثل طول موجة وشدة الضوء الصادر وطريقة إصداره مستمر أم نبضي وكذلك حجم ووزن جهاز الليزر وقيمة الجهد والتيار اللازمين لتشغيله وكفاءة التحويل وعمر التشغيل الافتراضي. تتراوح الاطوال الموجية لضوء الليزر الممكن توليده ما بين 100nm

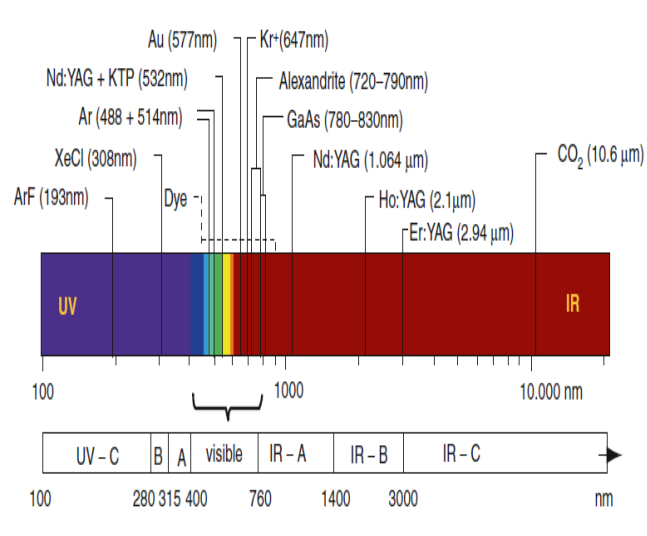
وصولاً إلى حوالي 10000nm أي أنها تشمل المجال المرئي بالإضافة إلى الأشعة تحت الحمراء القريبة وجزء من الأشعة فوق البنفسجية (الشكل4).

أما كمية الطاقة الناتجة، فتمتد من أجزاء من الملي واط حتى عشرات الكيلوواط في حال الليزر المستمر بزمن إصدار طويل نسبياً، ولكنها قد تصل إلى قيمة عالية جداً في حالة الليزر النبضي ولكن بزمن إصدار قصير جداً يقدر بحوالي فيمتو ثانية.

**A. ليزرات الحالة الصلبة**: يستخدم في هذا النوع من الليزرات أجسام صلبة كقضيب بلوري أو زجاجي مشوب بأيونات أوساط ربح بغية تأمين حالة الإثارة الطاقية المطلوبة لإنتاج ضوء الليزر. أما نظام الضخ فهو في الغالب الضوء الصادر من مصابيح غازية كهربائية يتم ملؤها بغاز مناسب لتعطي تردد ضوء الضخ المطلوب ويتم لف أنبوب المصباح على جسم قضيب الليزر بشكل حلزوني. يتم في الأنواع الحديثة استخدام ثنائيات (**Laser Diodes**) في عملية الضخ بدلاً من المصابيح الغازية وذلك لصغر حجمها وانخفاض أثمانها حيث يتم تسليط ضوء ثنائي الليزر مباشرةً على القضيب.

يعتبر الليزر الياقوتي (Ruby Laser) المصنع من الياقوت المشوب بأيونات الكروم، من أول وأشهر ليزرات الأجسام الصلبة حيث يتم الإبقاء على الانقلاب الإسكاني في ذرات الكروم بواسطة أنبوب ومضي أو حتى ليزر أخر مصدر لطول موجي أقصر منه في حالة الطول الموجي لعملية الليزرة.

هناك عشرات الأنواع من ليزرات الحالة الصلبة حيث يستخدم في معظمها أجسام صلبة بلورية اصطناعية كحجر الياغ (**YAG: YTTRIUM Aluminum Garnet**) وهو عبارة عن حجر كريم اصطناعي يعطي ألوان عديدة عند تطعيمه بالعناصر المختلفة. وعند استخدامه في الليزر يتم تطعيمه بعناصر فعالة تكون في الغالب من العناصر الأرضية النادرة كي تعطي طيفاً واسعاً من الترددات.




**الشكل 4**: مجال إصدار مختلف أنواع الليزرات .

**B. ليزرات أنصاف النواقل**: عبارة عن ليزرات حالة صلبة يكون وسط الربح فيها عبارة عن جسم صلب نصف ناقل. يتم تطعيم بلورة الجسم الصلب بعناصر مانحة وأخرى مستقبلة لتصبح على شكل وصلة موجب-سالب أي ثنائي، لذلك يدعى ثنائي الليزر(**Laser Diode**)، وأما عملية الضخ فتتم من خلال تمرير تيار في هذه الوصلة وإذا ما تجاوزت قيمة التيار قيمة حدية فإن الثنائي يبدأ بتوليد ضوء الليزر.

**C. الليزرات الغازية**: يكون وسط الربح في الليزرات الغازية عبارة عن غاز أو مجموعة غازات تحت ضغط منخفض توضع بين مرآتين عاكستين وتتم عملية الضخ من خلال التفريغ الكهربائي في الغاز عند تسليط جهد كهربائي عالي بين أقطاب موجودة عند طرفي الأنبوبة. تمتاز الليزرات الغازية بانخفاض تكلفتها وقدرتها على توليد استطاعات عالية وعمر تشغيلي طويل نسبياً. من أشهر أنواع الليزرات الغازية المستخدمة في جراحة الوجه والفكين هو ليزر ثاني أكسيد الكربون $CO_2$.
بالإضافة إلى الأنواع السابقة الرئيسية فهناك أنواع أخرى من الليزرات كالليزرات الصباغية (**Dye Lasers**)، ليزر بخار المعادن (**Metal-Vapor Laser**)، ليزر الإلكترونات الحرة (**Free Electron Laser**) والليزرات الكيميائية (**Chemical Lasers**).

نهاية المحاضرة الأولى

Best of Luck my dears