وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل التاسع
أنواع الليزرات وخصائصها

Characteristics Lasers &

جامعة الشام الخاصة
Al-Sham Private University

جامعة الشام الخاصة
ASPU
2011

أهداف هذا الفصل

- التعرف على مبدأ الليزر
- التعرف على خصائص الليزر
- التعرف على أهم الليزرات على الساحة الحيوية
- التعرف على المفعول الرئيسي المرتبط بكل ليزر
- آليات تفاعل النسج مع ضوء الليزر

LASER

- إن كلمة ليزر LASER منحوتة من العبارة:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
التي تعني تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع

- الميزرR+mw maser
- فعل "to lase"
- الليزر الذري atom laser "منبع الذرات الموجودة في حالة مترابطة.

خصائص ضوء الليزر

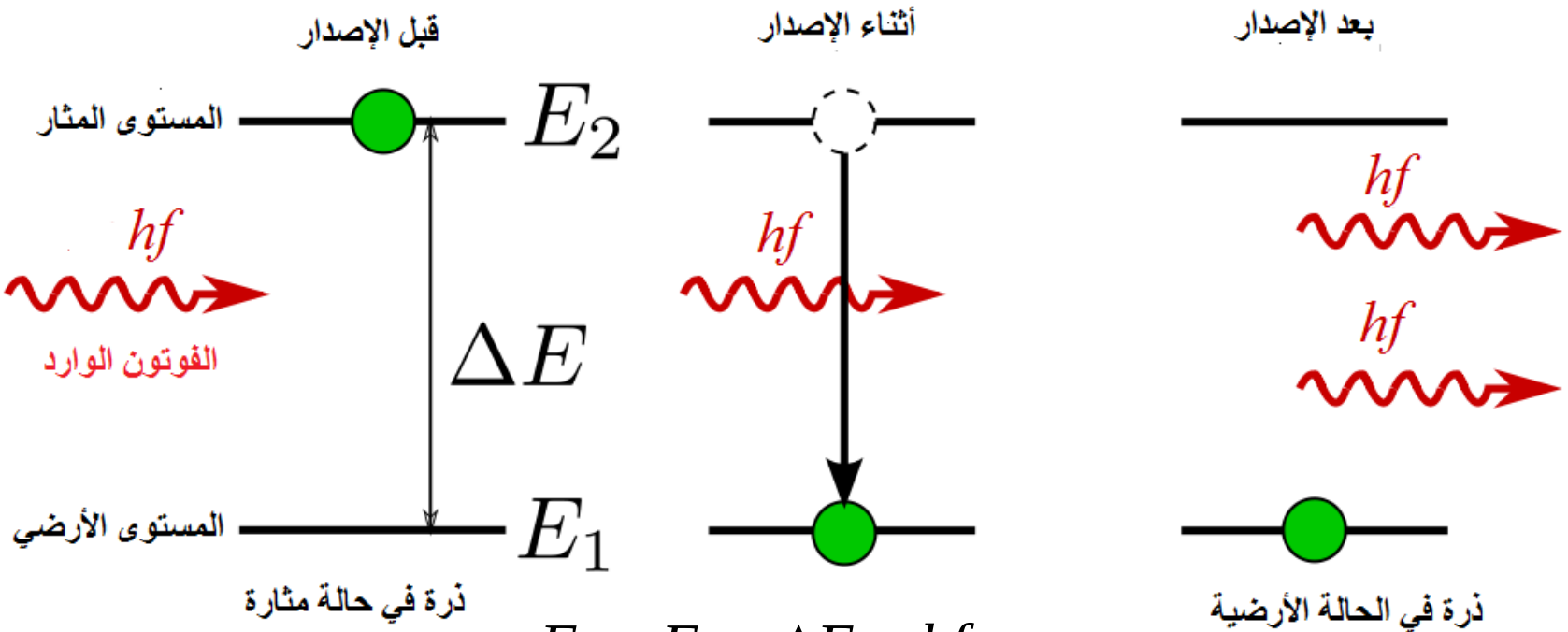
- يَصدُر ضوء الليزر في حزمة ضيقة ضعيفة التباعد مترابطة مكانياً، يمكن تداولها بعدسات.
- الضوء المترابط "coherent light" في تقانة الليزر

خصائص ضوء الليزر

- إن ضوء الليزر عموماً هو ضوء أحادي اللون monochromatic light.

- ضيق الطيف الكهرطيسي حول أطواله الموجية

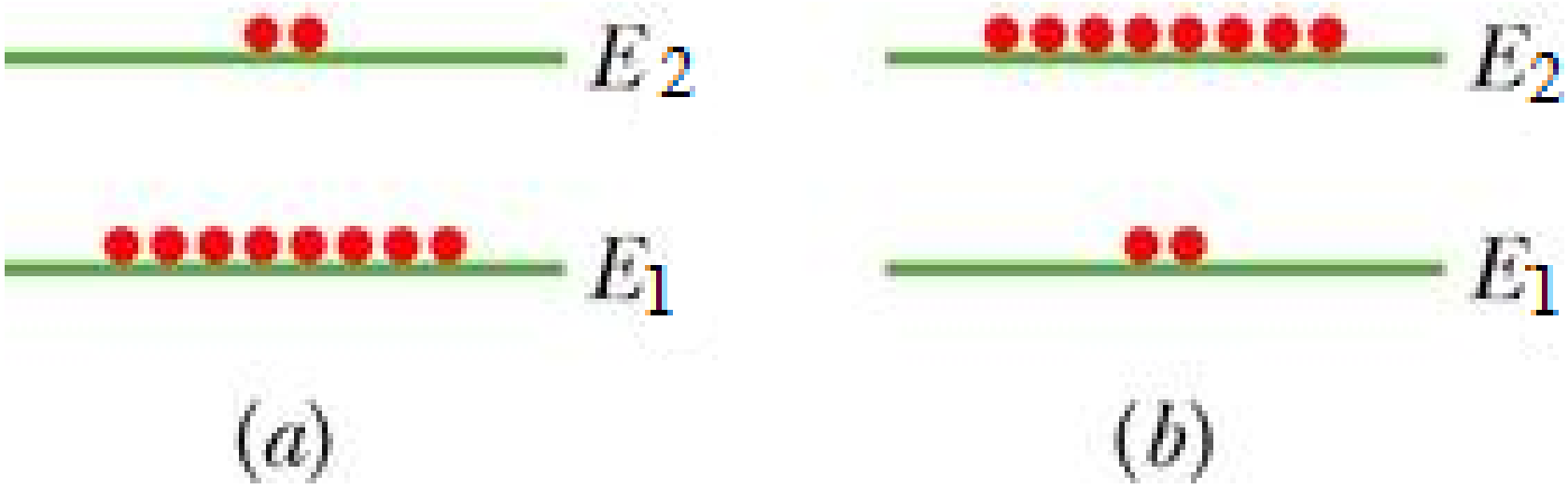
المبدأ الأساسي لإصدار ضوء الليزر



$$E_2 - E_1 = \Delta E = hf$$

مبدأ الإصدار المحثوث

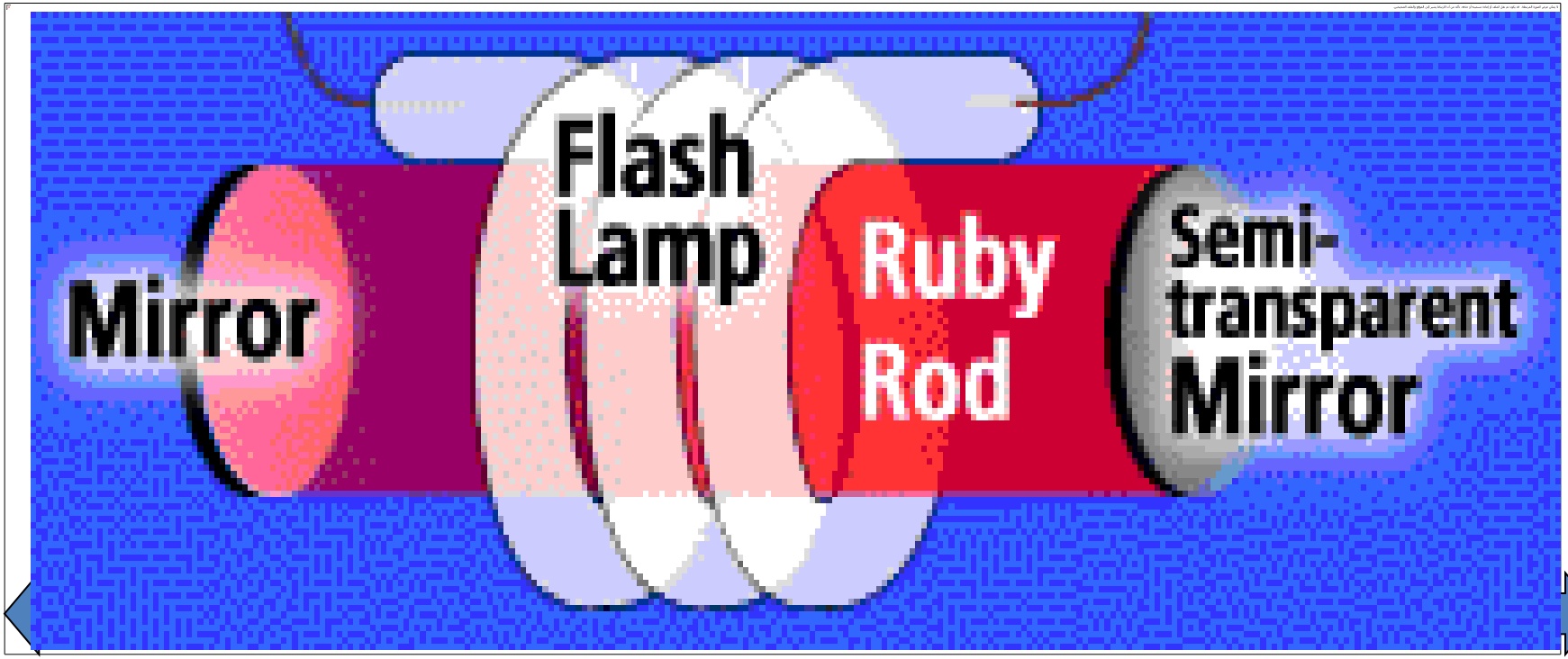
انقلاب التوزع الإسكاني



(a) توزع الذرات التوازني بين الحالة المثارة والحالة الأرضية بفعل التهيج الحراري (b) انقلاب توزع الذرات بطريقة معينة.

عناصر الليزر

1. الوسط الفعال 2. المضخة 3. حجرة التجاوب



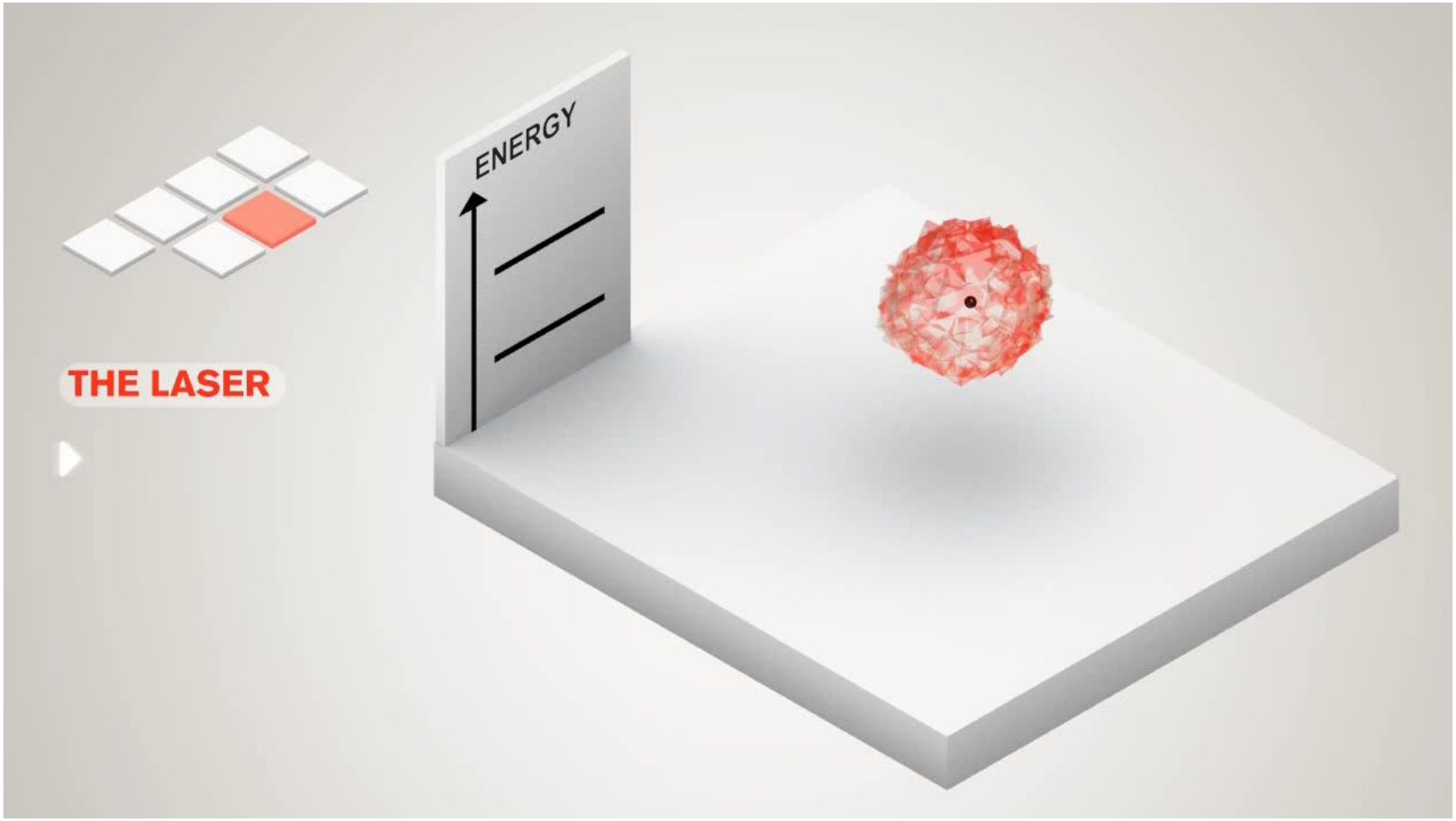
مبدأ وشروط الليزر

- في الفيزياء الكمومية، تبدي طاقة الذرة مستويات متقطعة. فإذا أثيرت الذرة ترتفع طاقتها فجأة إلى المستوى الأعلى.
- إذا أرسل فوتون (حبة ضوئية) طاقته مناسبة إلى ذرة مثارة، تسقط الذرة على طاقتها الأخفض وتصدر فوتوناً آخر مطابقاً للأول.

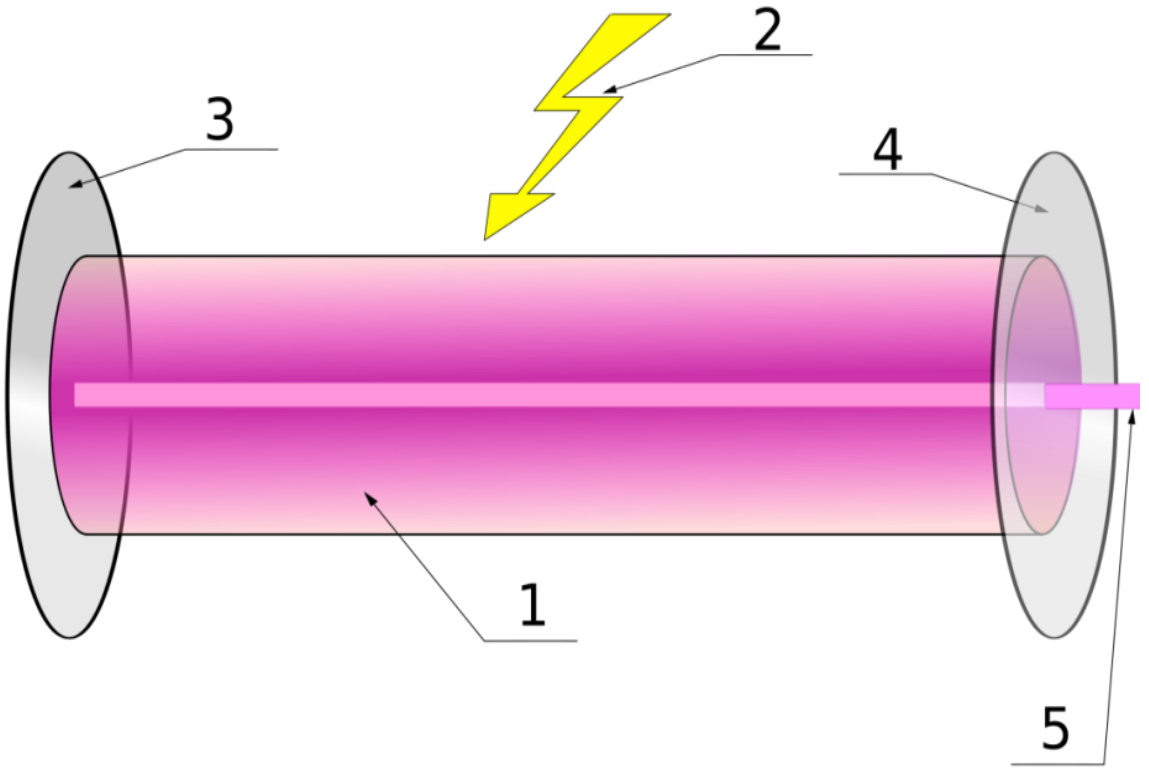
مبدأ وشروط الليزرة

- توضع الذرات المثارة في الليزر بين مرآتين. يحرض فوتون أول ذرة معينة فتصدر فوتوناً آخر وتستمر كذلك بفضل المرآتين.
- الفوتونات الناتجة متماثلة. لها الطاقة نفسها التي تعطيها اللون نفسه واتجاها وحيداً. هذا مبدأ عمل الليزر

الليزر مترابط

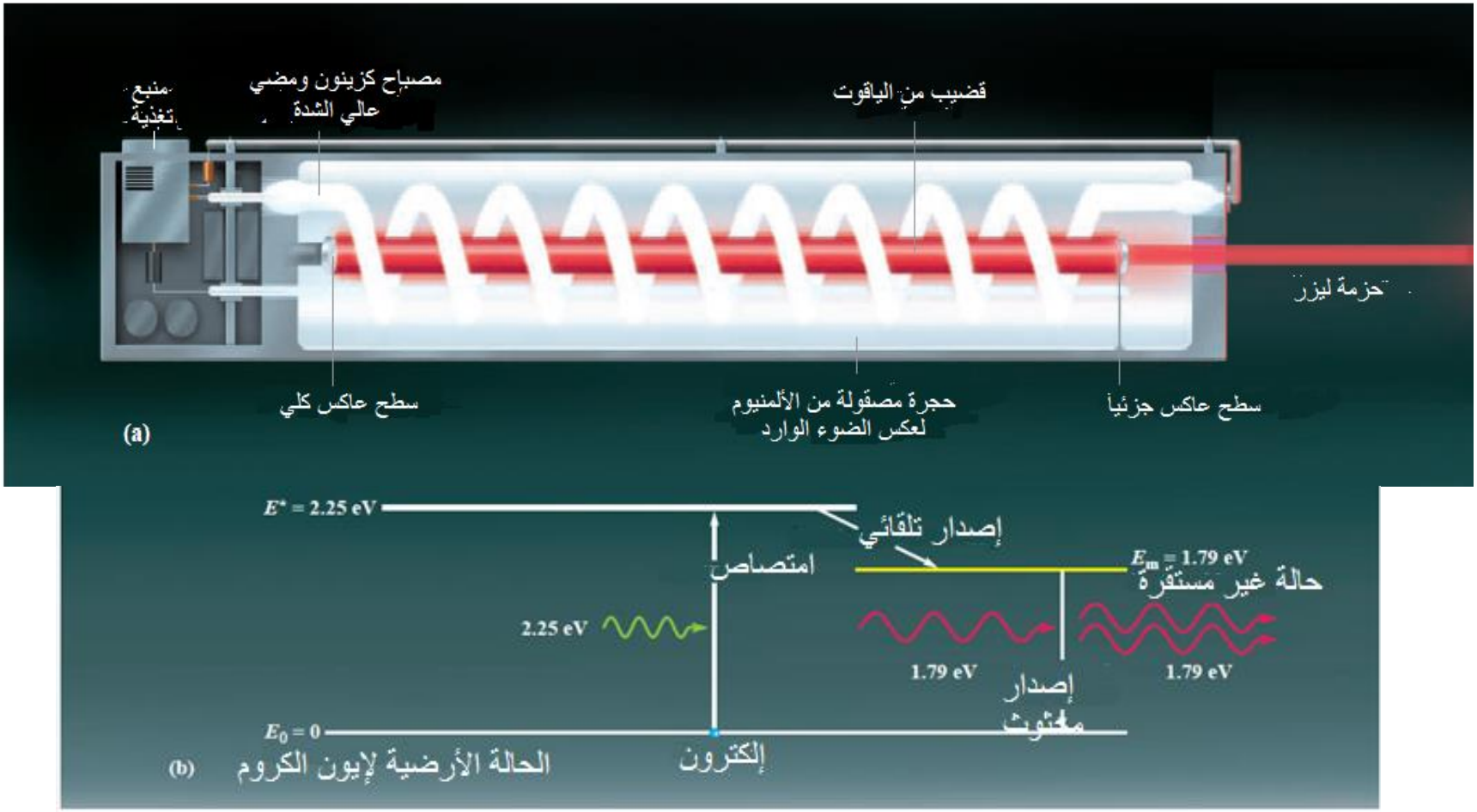


أحد أنواع الليزر (ليزر غازي)

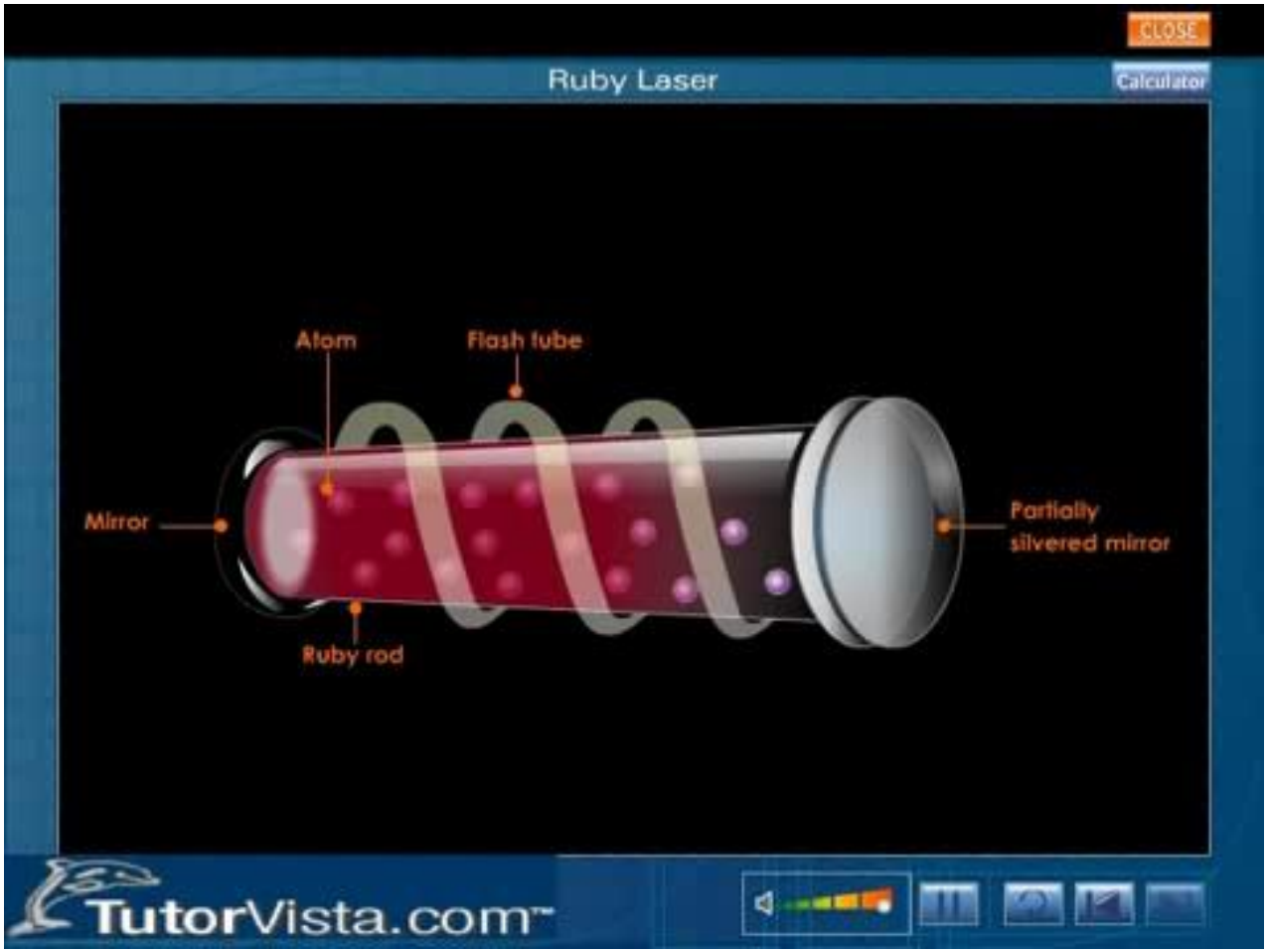


1) وسط الربح، 2) طاقة ضخ الليزر، 3) عاكس شديد ، 4) قارن الخرج ، 5)حزمة الليزر.

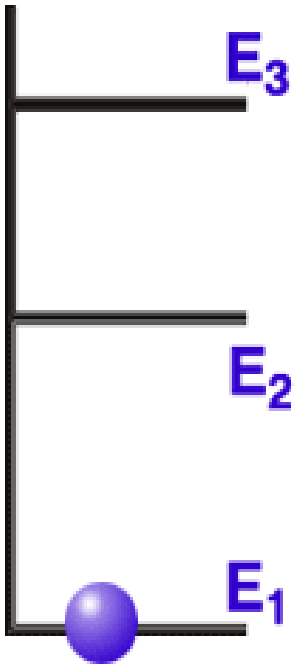
شكل تخطيطي لليزر الياقوتي والإصدار



ليزر الياقوت

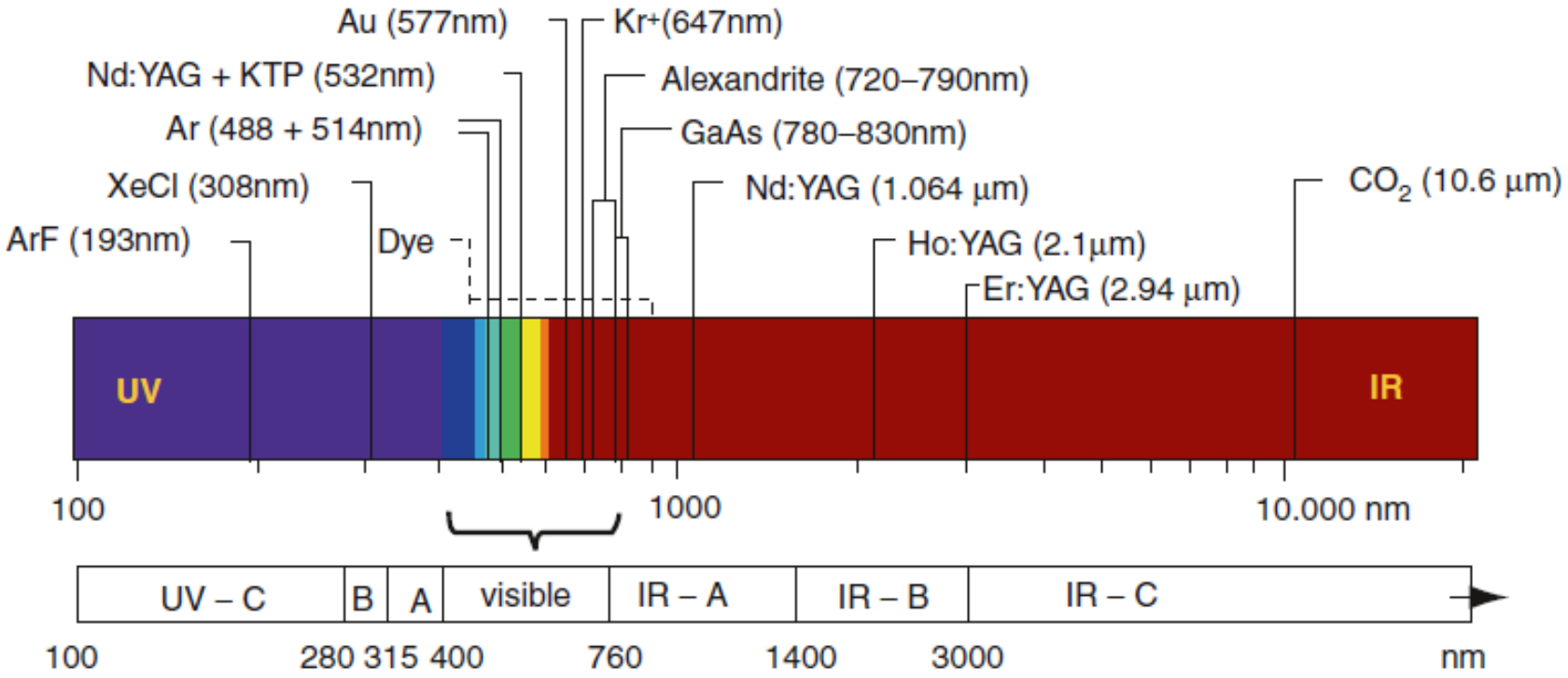


شكل تخطيطي لإصدار إشعاع الليزر



الإصدار المحثوث للإشعاع في الوسط الفعال

أنواع الليزر



الأطوال الموجية لأنواع الليزر الطبية. تظهر في الشكل أنواع الليزر بخطوطها المميزة أعلى محور الأطوال الموجية، فيما تظهر في أسفل المحور أنواع الليزر التي يمكنها أن تصدر في مجال من الأطوال الموجية.

الليزرات الغازية

- **ليزر الهليوم-نيون** helium-neon laser (HeNe) عند عدد كبير من الأطوال الموجية. والليزرات التي تعمل عند الطول الموجي 633 nm كثيرة الشيوع في التربية لانخفاض تكلفتها. وتستخدم في المعالجة كبديل عن الإبر الصينية

- **ليزرات غاز ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide lasers**. 9.6 µm و 10.6 µm.

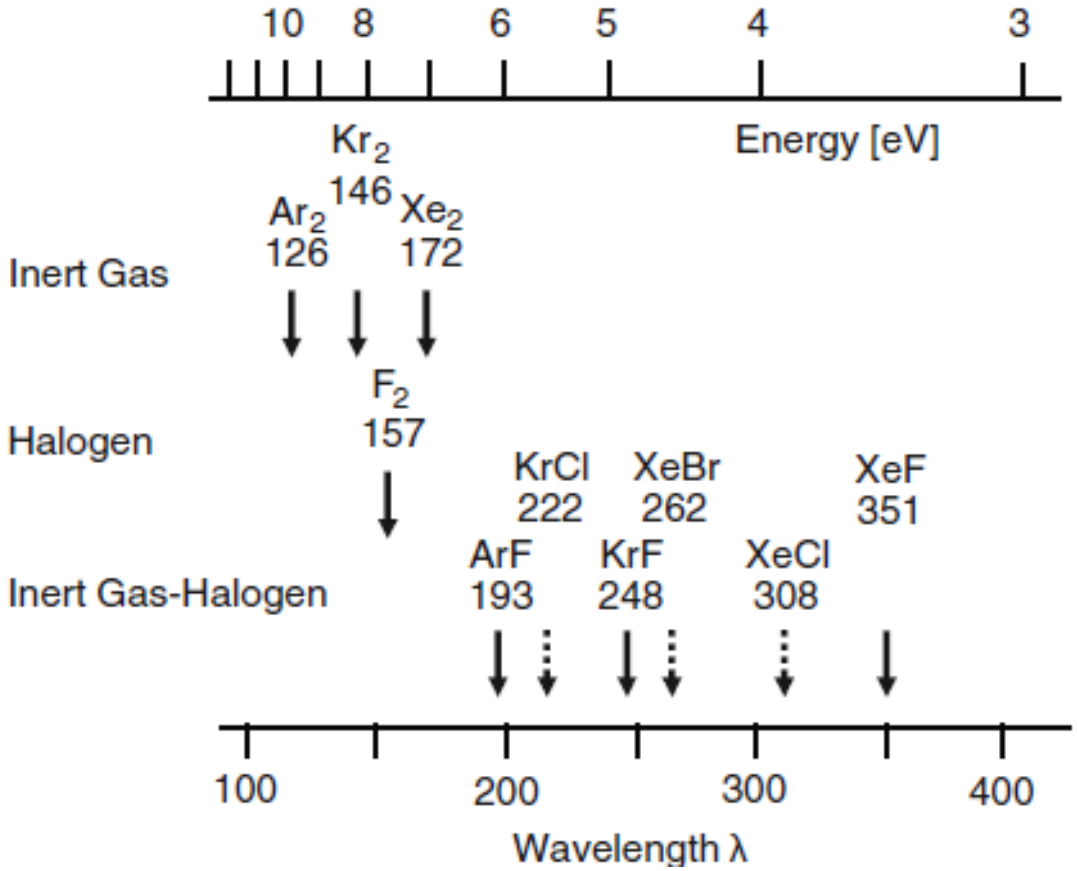
الليزرات الغازية

- **ليزرات الأرغون الإيوني** التي تصدر في المجال 351- 528.7 nm، ولو أن أكثر الخطوط شيوعاً 458 nm و 488 nm و514.5 nm. يستخدم في لحم الشبكية بالمشيمية لدى المصابين بداء السكري.
- **ليزر النتروجين** يولد الضوء فوق البنفسجي عند الطول الموجي 337.1 nm .
- **ليزرات الأيونات المعدنية** ليزرات غازية تولد الأطوال الموجية فوق البنفسجية البعيدة

الليزرات الغازية: ليزر الإكسايمر

- ليزر الإكسايمر excimer laser هو أحد أشكال الليزرات فوق البنفسجية.
- excited dimer
- ليزر الإكسايمر يجمع في الحالة النموذجية بين غاز خامل وغاز فعال

الليزرات الغازية: ليزر الإكسايمر



الأطوال الموجية لليزرات الأكسايمر.

الليزرات الغازية: خواص وأهمية ليزر الإكسايمر

- ارتفاع استطاعة هذه الليزرات يجعلها مفيدة في الجراحة (وخاصة جراحة العين بالليزك) وفي المعالجة الجلدية.

- إن ليزر الإكسايمر دقيق للغاية. يمكن تبئير حزمته في منطقة بصغر 0.25µm ويمكنه في كل مرة إزالة ثخانة بقدر 0.5% من عرض شعرة بشرية.

الليزرات الغازية: خواص وأهمية ليزر الإكسايمر

- المادة الحية والمركبات العضوية تمتص الضوء فوق البنفسجي الصادر من ليزر الإكسايمر بشكل جيد.
- يقدم ليزر الإكسايمر طاقة كافية للتداخل مع الروابط الجزيئية في النسيج السطحي الذي يتفكك بالاستئصال الضوئي laser ablation وليس بالحرق.

ليزرات الحالة الصلبة

1-ليزر الياقوت المحضر من الياقوت (أكسيد الألمنيوم corundom المشوب بالكروم).

- وظيفة

ليزرات الحالة الصلبة

2-ليزر عقيق الإتريوم والألمنيوم المشوب بالنيوديوم Nd:YAG.

استخدامات ليزرات الحالة الصلبةNd:YAG

- القطع واللحام
- الرسم على المعادن والمواد الأخرى
- وفي المطيافية أيضاً
- وفي ضخ الليزرات الصباغية.
- مؤشرات اللون الأخضر.

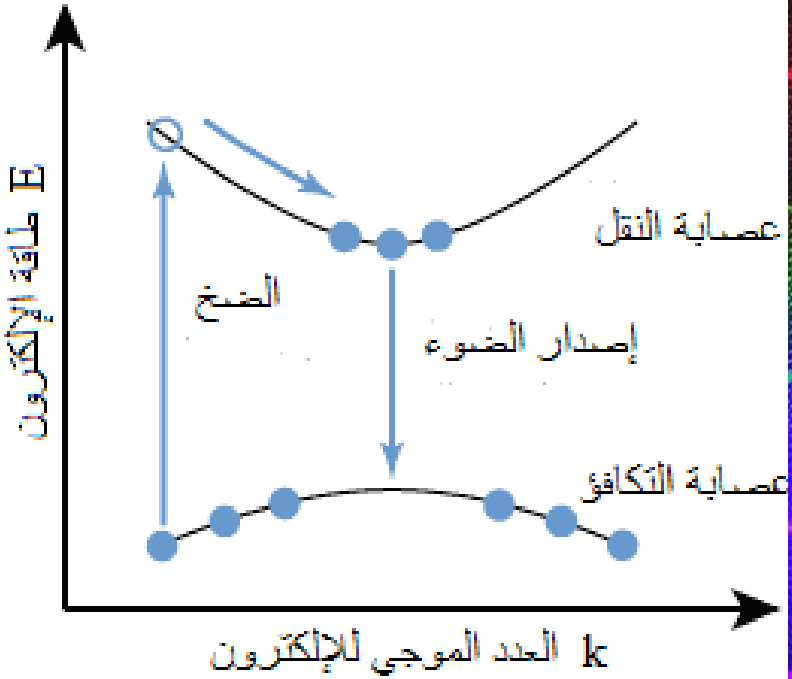
ليزرات الحالة الصلبة

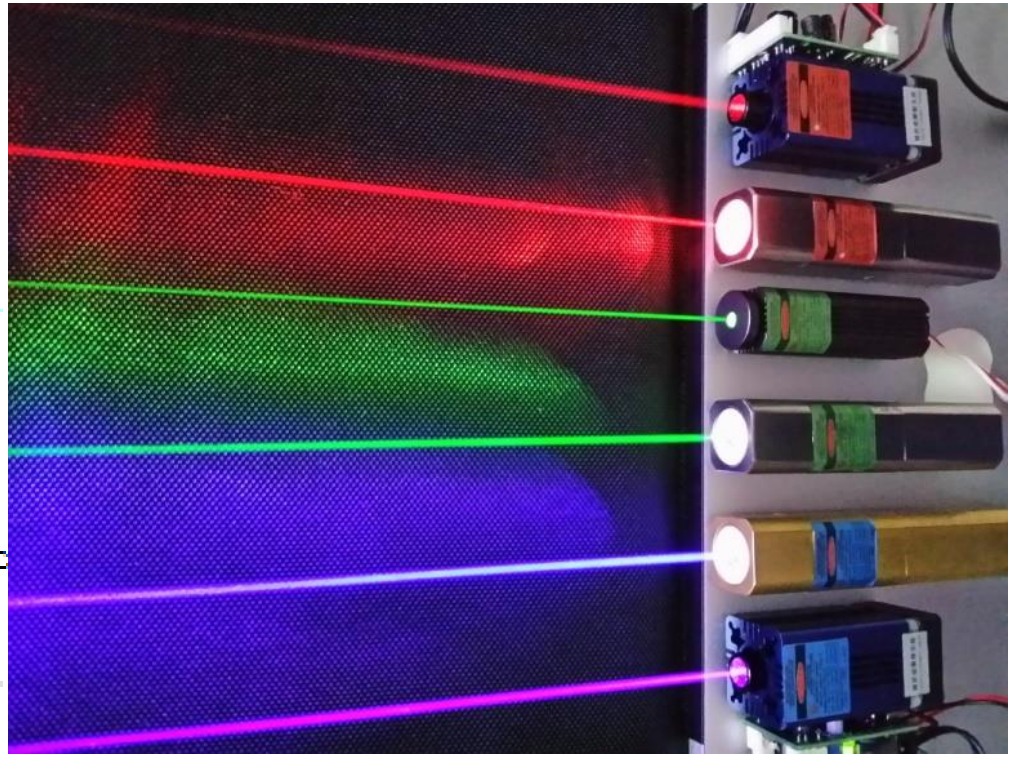
- 3- ليزر الياقوت المشوب بالتيتانيوم
- يولد الياقوت المشوب بالتيتانيوم ليزراً قابلاً للتوليف ضمن مجال واسع من تحت الأحمر، يشيع استخدامه في المطيافية.

الليزرات نصف الناقلة

الاصدار المحثوث من عصابة النقل إلى عصابة التكافؤ لدى وجود كثافة عالية من حاملات الشحنة المتحركة في عصابة النقل.

الليزرات نصف الناقلة



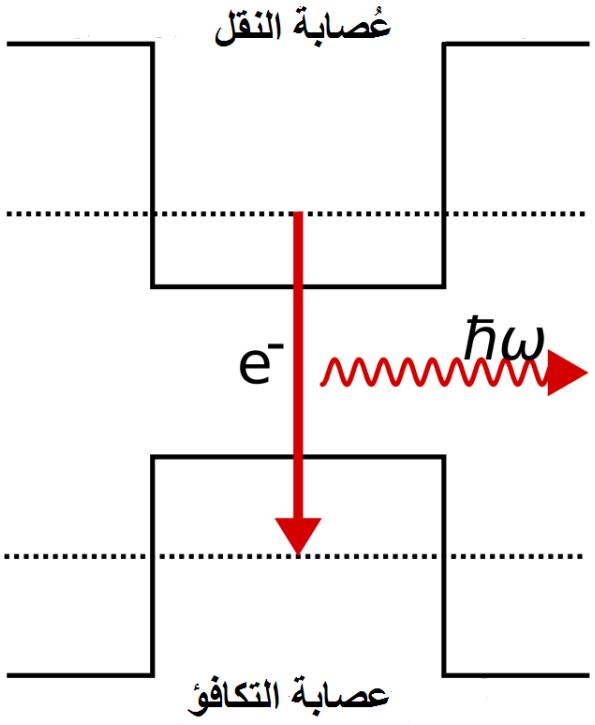


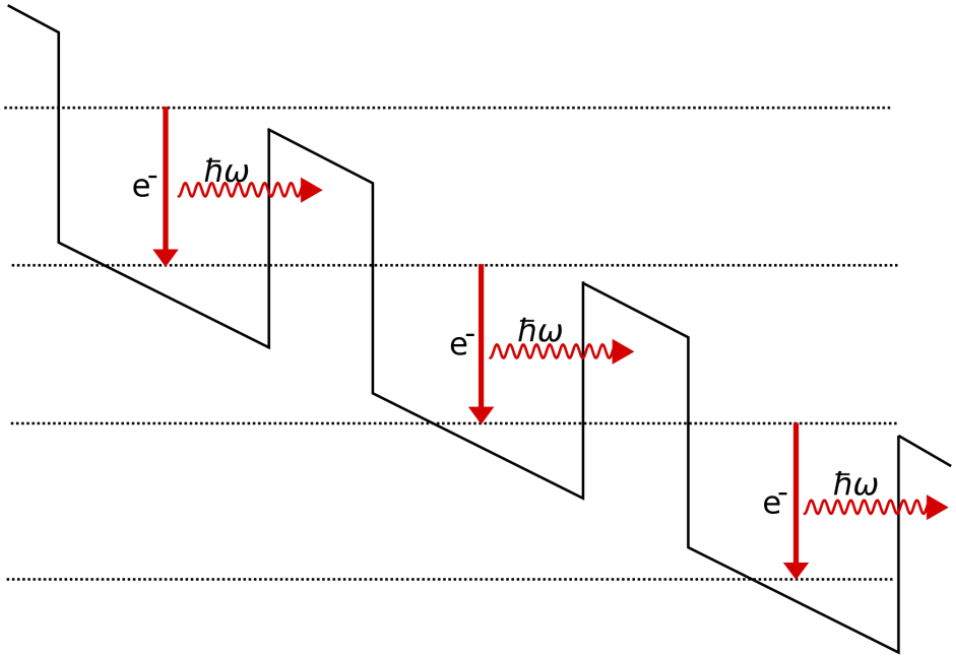
الليزرات نصف الناقلة من البرتقالي إلى البنفسجي 660 nm و635 nm و532 nm و520 nm و 445 nm و405 nm على الترتيب.

مجالات الليزرات نصف الناقلة واستخداماتها

- في مجال تحت الأحمر القريب
- الضوء الأحمر ويستخدم كمؤشرات
- الضوء الأخضر

ليزرات الشلال الكمومي
Quantum cascade lasers (QCLs)



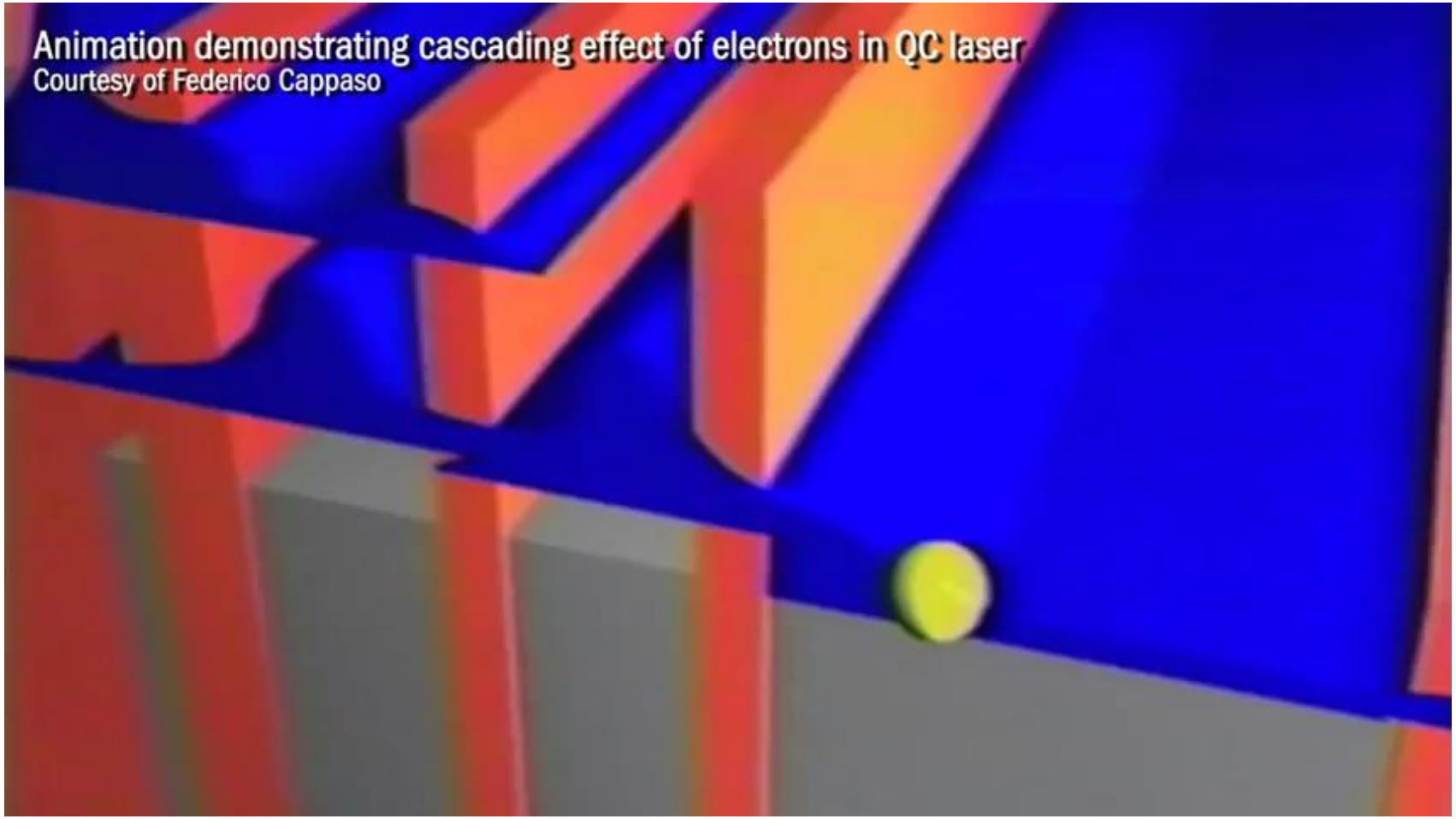


الانتقالات بين العصابات الإلكترونية الجزئية في ليزر الشلال الكمومي

لانتقالات بين العصابية في ليزرات نصف ناقلة تقليدية تصدر فوتوناً وحيداً.

ليزرات الشلال الكمومي

Quantum cascade lasers (QCLs)

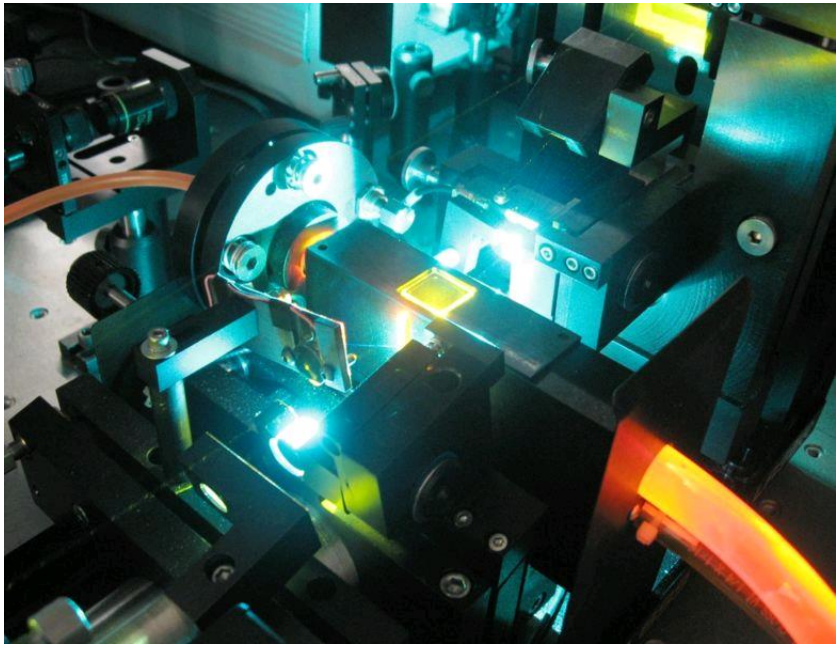


ليزرات الشلال الكمومي
Quantum cascade lasers (QCLs)

- الاستشعارعن بعد للغازات البيئية وملوثات الغلاف الجوي وفي أمان البلاد
- التشخيص الطبي كمحللات للنفس.
- مطيافية التيراهرتز في التعرف على الجزيئات الثقيلة المعقدة وتكميتها كالمواد الكيميائية السامة والمتفجرات والأدوية (راجع فصل التيراهرتز) .

الليزرات الصباغية Dye lasers

- من الليزرات السائلة
- تستخدم أصبغة عضوية منحلة في محلات عضوية كوسط ربح
- تضخ بليزر وتصدر الضوء بالفلورة



الليزرات الصباغية

- يسمح اتساع طيف ربح الأصبغة المتوافرة لهذه الليزرات:

- بتوليفها على نطاق واسع، أو بتوليد نبضات قصيرة جداً (من مرتبة بضع فمتوثانيات).

الليزرات الصباغية

- تسمح إمكانية اتساع مجال أطوالها الموجية:

- بمواءمتها بدقة مع خطوط امتصاص بعض النسج:

- كالميلانين أو الهموغلوبين،

- بينما يساعد ضيق العصابات التي يمكن الحصول عليها في تخفيض إمكانية إلحاق الضرر بالنسيج المحيط.

الليزرات الصباغية

- تفيد هذه الليزرات في الجلدية، حيث تستخدم في معالجة:
  - الوحمات الوعائية port-wine stains
  - واضطرابات الأوعية الدموية الأخرى،
  - والندبات
  - وتفتيت حصى الكلية.
- يمكن توليفها أيضاً مع تشكيلة من الأحبار لإزالة الوشوم بالإضافة إلى عدد من التطبيقات.

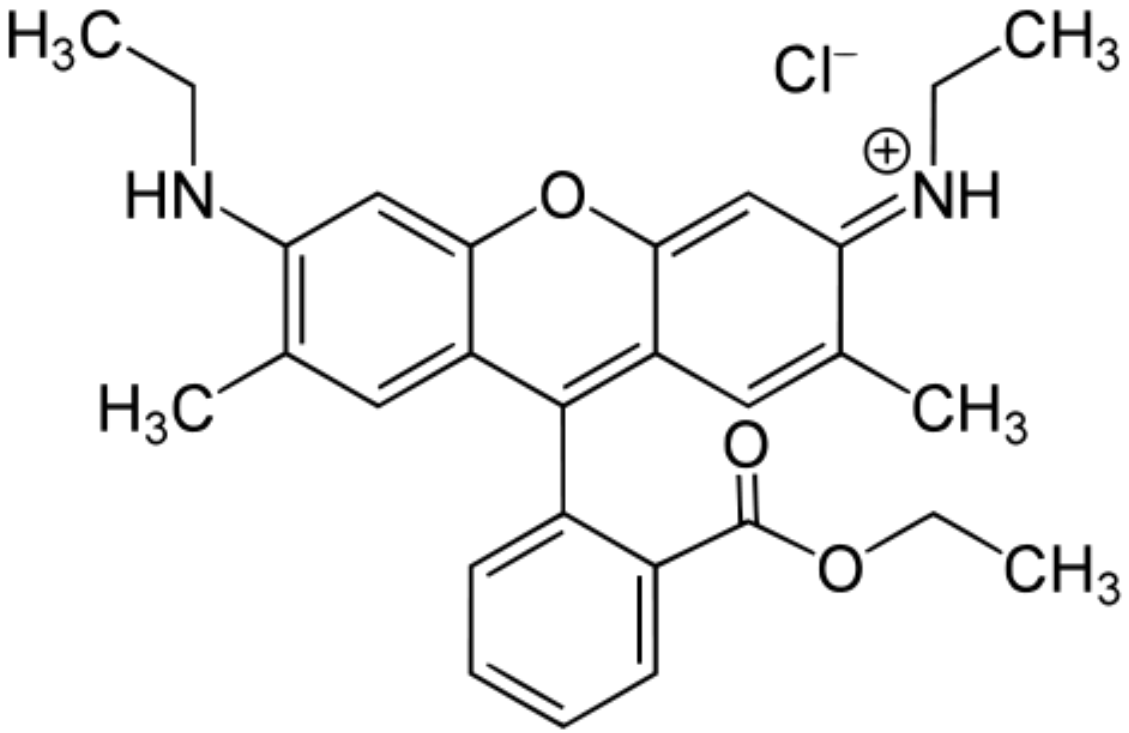
الليزرات الصباغية

- تستخدم في **المطيافية** لدراسة أطياف امتصاص وإصدار مختلف المواد.
- إذْ يسمح كل من قابليتها للتوليف (من تحت الأحمر القريب إلى البنفسجي القريب) وضيق عرض عصابتها وارتفاع شدتها بتنوع أكبر بكثير منه في حالة المنابع الضوئية الأخرى.

الليزرات الصباغية

- تتنوع مدد نبضاتها من النبضات الفائقة القصر الفمتوثانية إلى التشغيل بنمط الموجة المستمرة
- يجعلها هذا التنوع في مدد النبضات ملائمة لمجال واسع من التطبيقات:
  - منها دراسة أعمار الفلورة للجزيئات الصيدلانية

الأصبغة المستخدمة في الليزر الصباغي



Rhodamine 6G

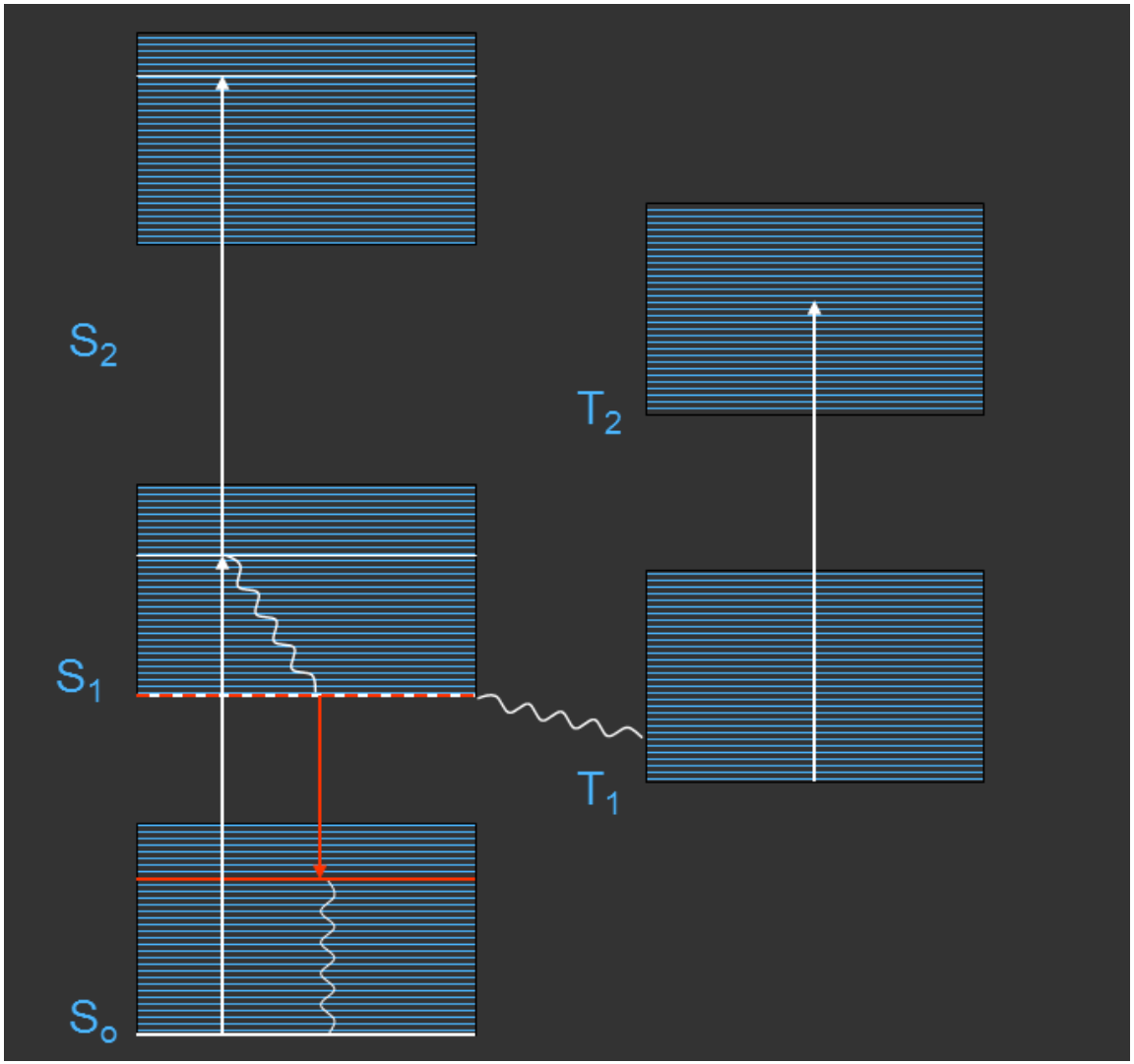
الصباغ جزيء كبير يتضمن عدداً كبيراً من الحالات الاهتزازية المتقاربة فيما بينها_ تتكون عملياً من استمرارية من الحالات.

يمكن أن يوجد الصباغ في الحالات الكمومية

الحالة الأحادية **a singlet (state)** في الميكانيك الكمومي هي حالة كمومية لجملة معينة تنضم فيها سبينات مكوناتها (جميع الجسيمات في كل الاتجاهات) بحيث يساوي سبينها الكلي الصفر، فلا يوجد إلا عدد كمومي سبيني واحد مسموح به 0.

الحالة الثلاثية **triplet state** في الميكانيك الكمومي هي حالة كمومية quantum state لجملة سبينها 1، بحيث توجد ثلاث قيم مسموحة للمركبة السبينية وهي 1- و0 و 1.

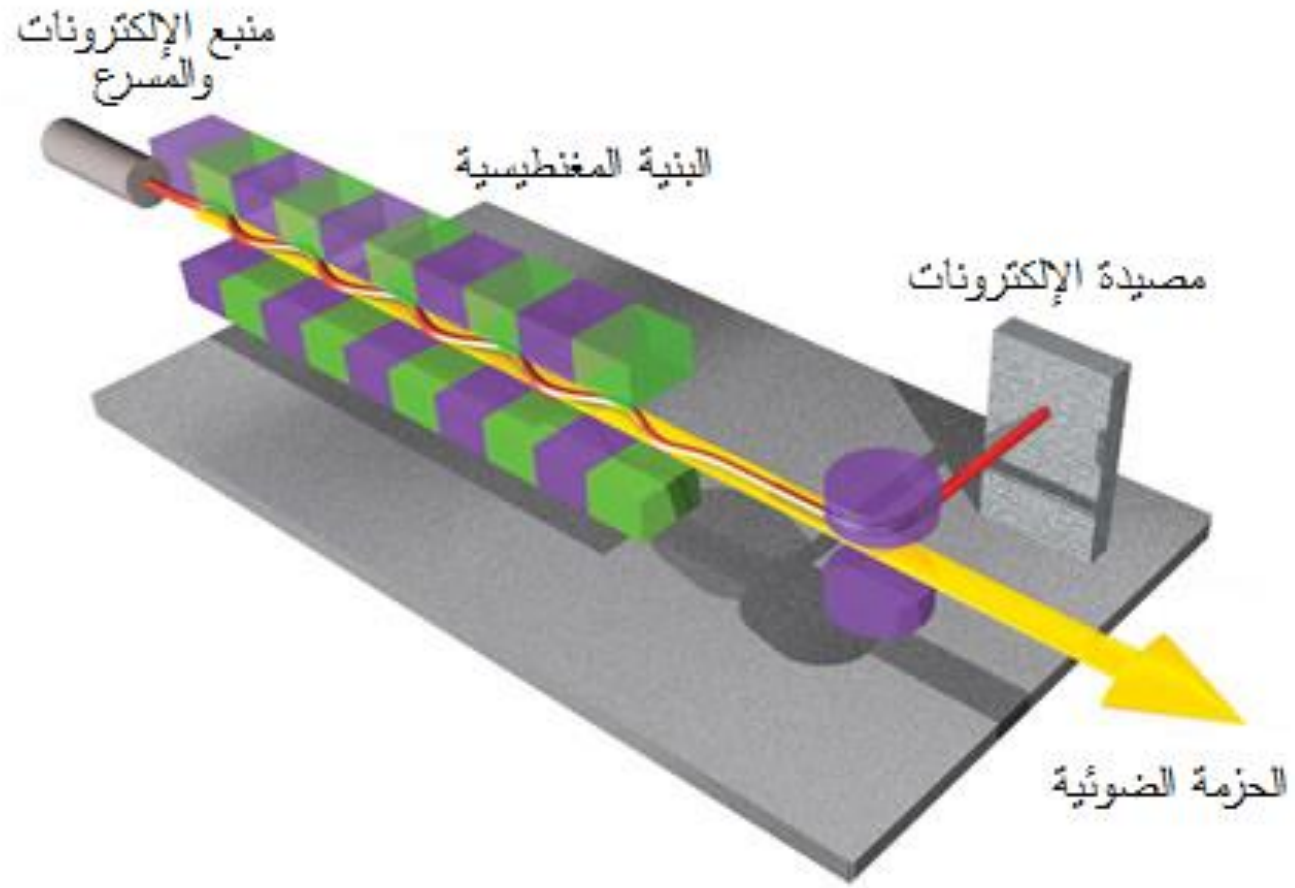
الحالات الكمومية التي يمكن أن يوجد فيها الصباغ



إصدار الفلورة والعتامة في الليزر الصباغي

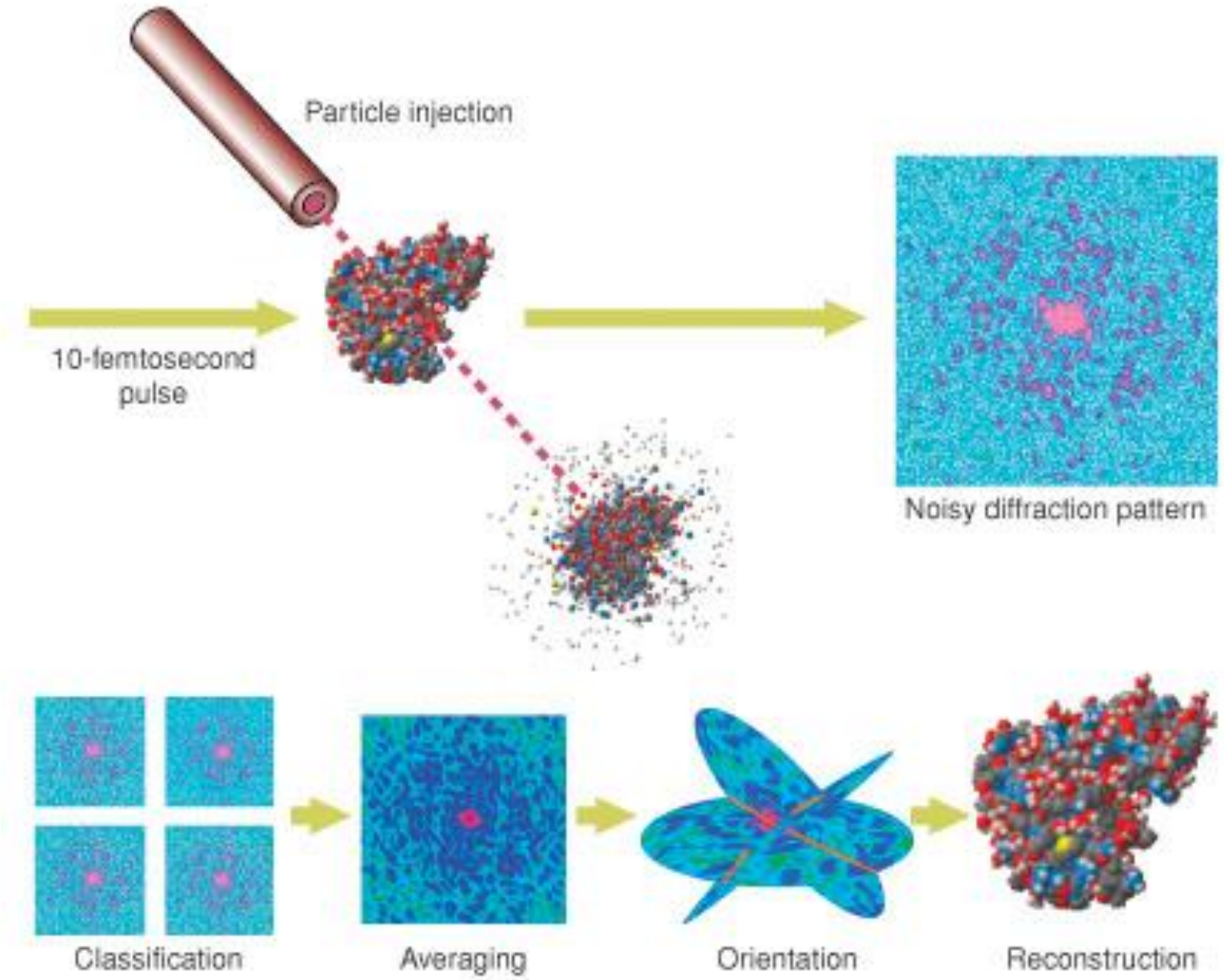
- تؤدي نبضة المضخة إلى إسكان الحالات المفردة S_1 و S_2.
- يحدث تحول داخلي سريع (وهو انتقالات لا إشعاعية تتبدد فيها الطاقة بشكل حراري) نحو أخفض حالة لـ S_1 والتي تليزر نحو حالة اهتزازية مثارة للحالة الأرضية S_0. كما يحدث تحول داخلي منها نحو الثلاثية T_1 التي تصدر الضوء بالفسفرة. كما يمكن أن يحدث امتصاص نحو الثلاثية T_2 من الحالة الثلاثية T_1 فتتفرّغ S_1 بسرعة وتتوقف الفلورة

ليزر الإلكترونات الحرة
Free Electron Laser (FEL)

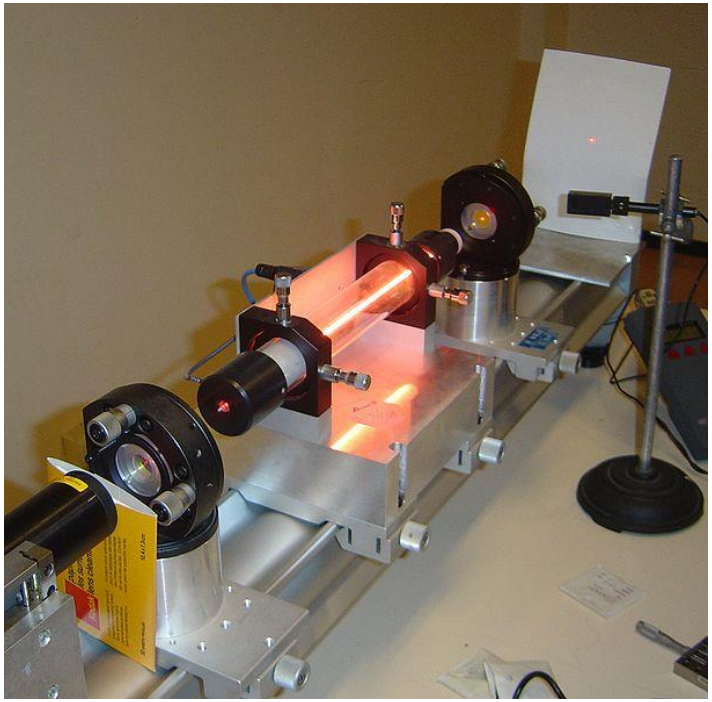


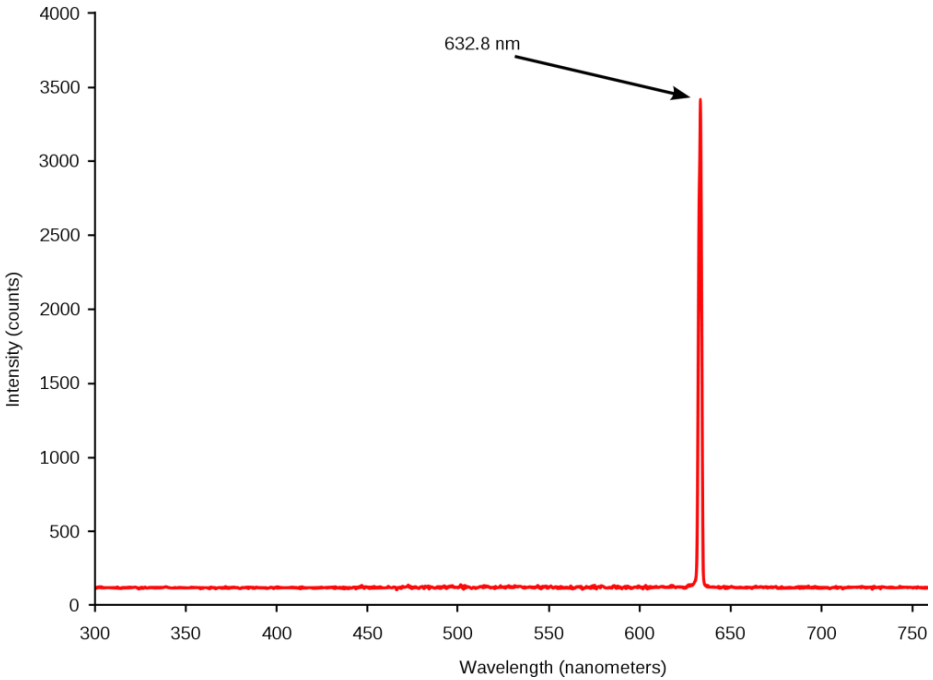
الشكل التخطيطي لليزر الإلكترونات الحرة.

تصوير الجزيئات الحيوية بليزر الإلكترونات الحرة



خصائص إشعاع الليزر

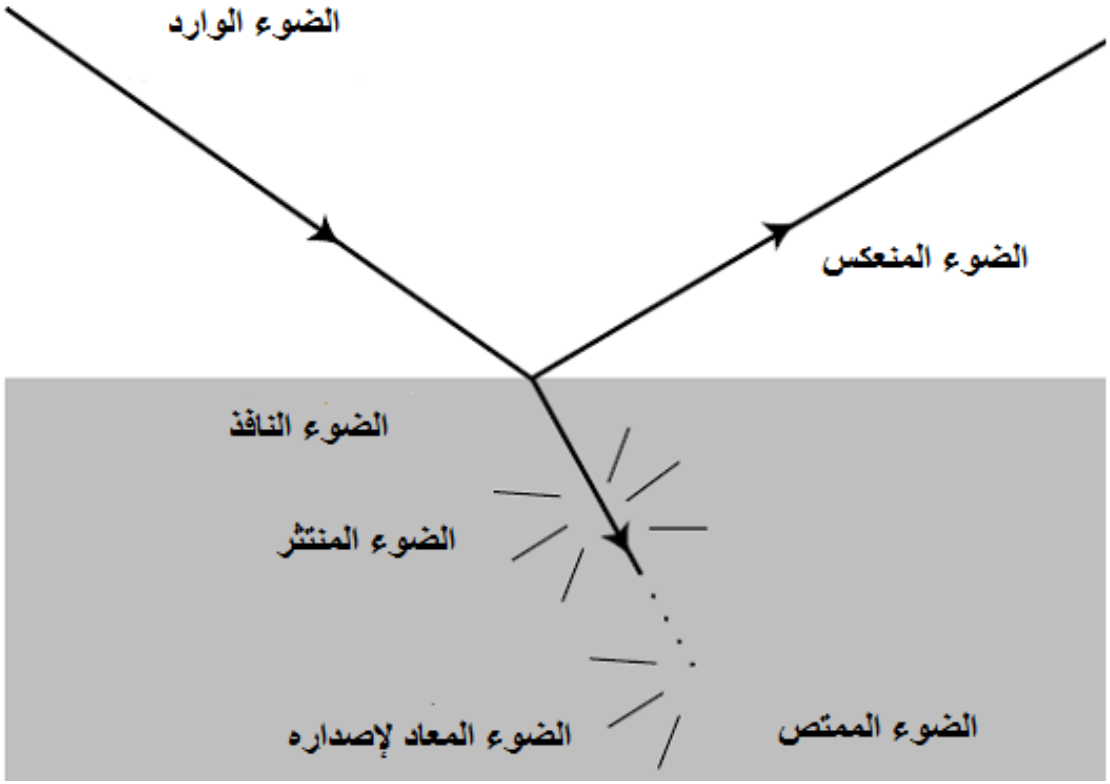




مقارنة بين الخصائص الضوئية
لمنبع ضوئي تقليدي وليزر الهليوم نيون

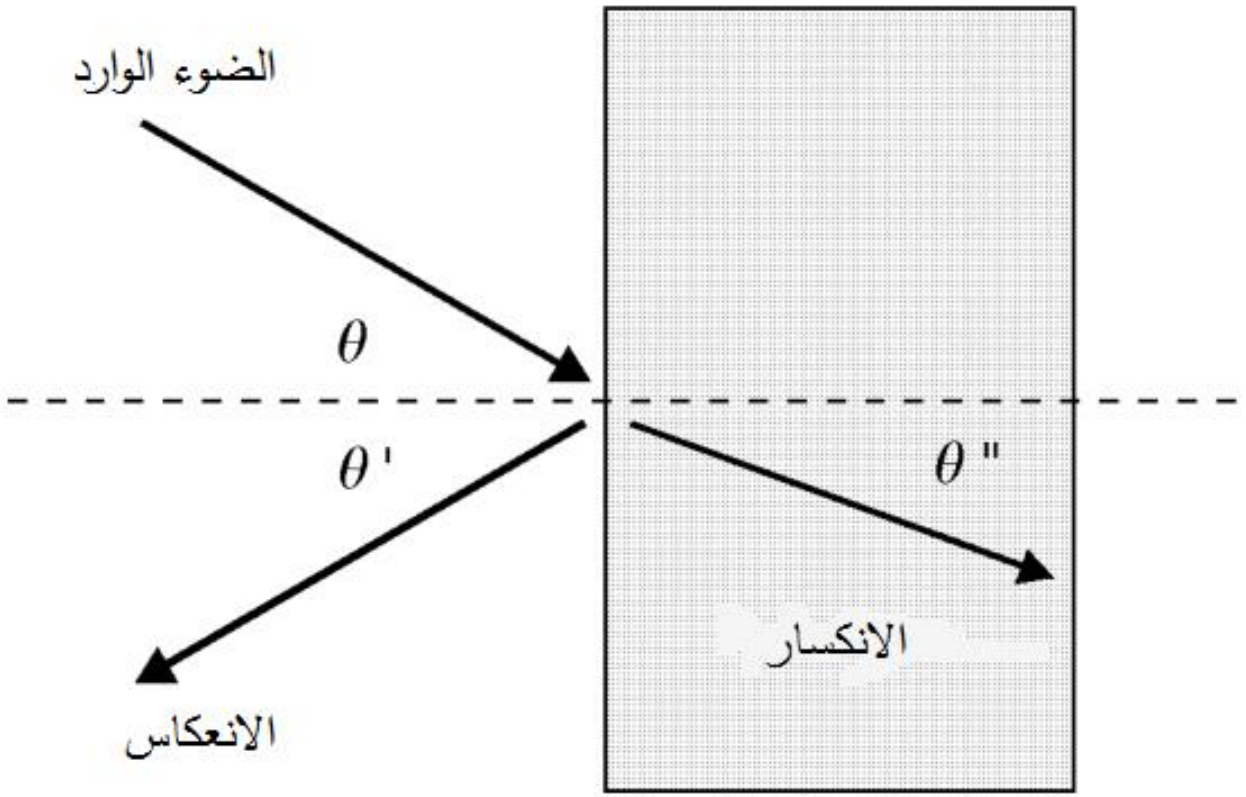
	مصباح بخار الزئبق التقليدي	ليزر الهليوم-نيون
الطول الموجي	$546.0\ nm$	$632.8\ nm$
الإستطاعة	$100\ W$	$1\ mW$
عرض الشريط الطيفي	$\Delta_\lambda \approx 10\ nm$	$\Delta_\lambda = 2\times10^{-3}\ nm$
زاوية الإصدار الصلبة	$\delta\Omega = 4\pi\ Sr$	$\delta\Omega \cong 10^{-6}\ Sr$
التألق الطيفي (السطوع)	$1\ W/cm^2 \cdot Sr\ nm$	$5\times10^{7}\ W/cm^2 \cdot Sr\ nm$

تفاعل إشعاع الليزر مع النسج: آليات تأثير النسج في الضوء



هندسة الانعكاس والانكسار والامتصاص والانتثار.

الانعكاس والانكسار



هندسة الانعكاس والانكسار المرآتيَيْن

تفاعل إشعاع الليزر مع النسج:
آليات تأثير النسج في الضوء

موجز للمفعولات التي تقوم بها النسج في الليزر:

- فهي تعكس جزءاً من إشعاع الليزر (ويكون الجزء المنعكس أكبر ما يمكن في حالة الضوء المرئي)،
- وتمرر جزءاً آخر ينتشر جزء كبير منه (ويكون الجزء النافذ أكبر ما يمكن عندما يقع في مجال تحت الأحمر القريب)،
- وتكسر جزءاً آخر ولاسيما مجال التيراهرتز وتكون النسج سنية،
- وتمتص جزءاً آخر (يكون هذا الجزء أكبر ما يمكن في مجالي تحت الأحمر المتوسط وفوق البنفسجي

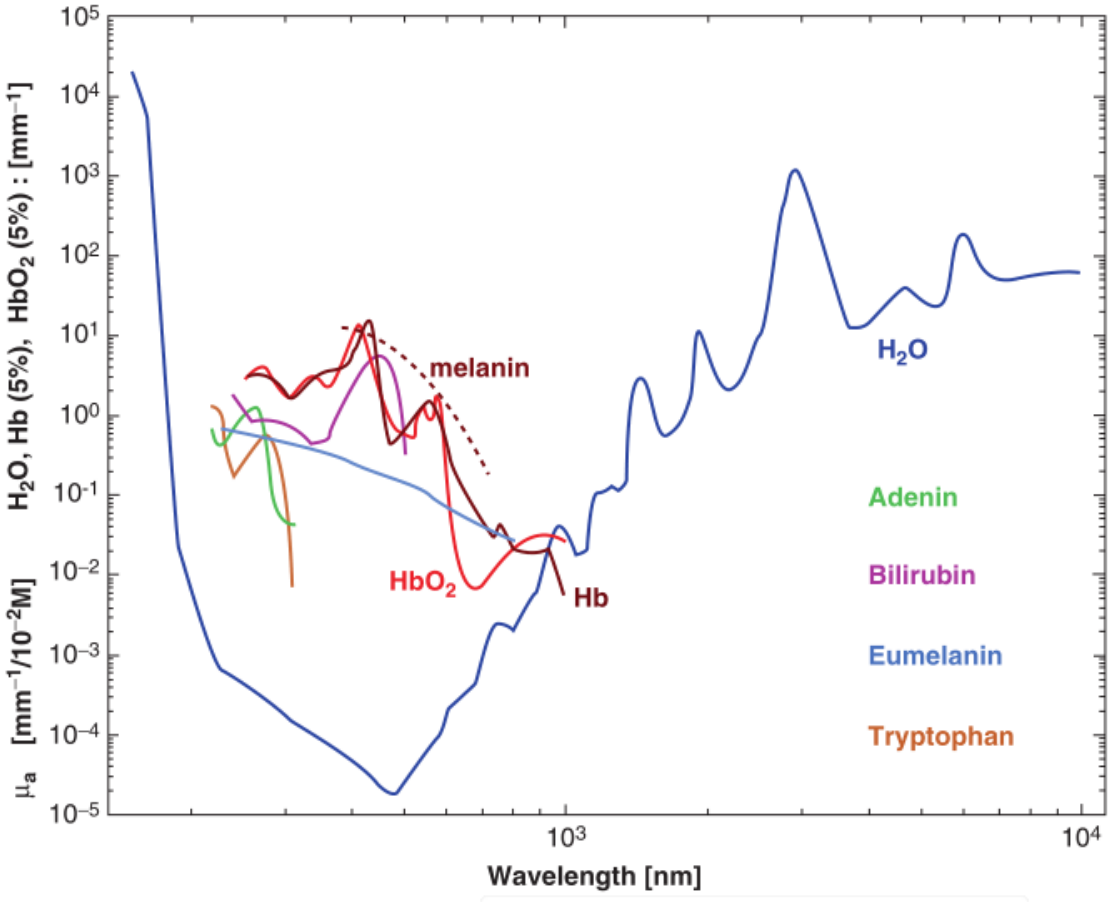
تفاعل إشعاع الليزر مع النسج:
آليات تأثير النسج في الضوء

- عندما يكون الجزء المنعكس هو الضوء المرئي فيمكن استخدامه في التنظير (تنظير البنى الأنبوبية في الجسم كالجهاز الهضمي والجهاز البولي).
- يجب التمييز بين التنظير الضوئي والتنظير بالأشعة السينية أو أي طريقة تنظير أخرى
- عندما يقع الجزء النافذ أو المنتشر ضمن مجال تحت الأحمر القريب فيستخدم في التصوير المأمون، وهو المجال الذي يمثل، كما سنرى في الفصل التالي، النافذة الضوئية أو العلاجية.

تفاعل إشعاع الليزر مع النسج:
آليات تأثير النسج في الضوء

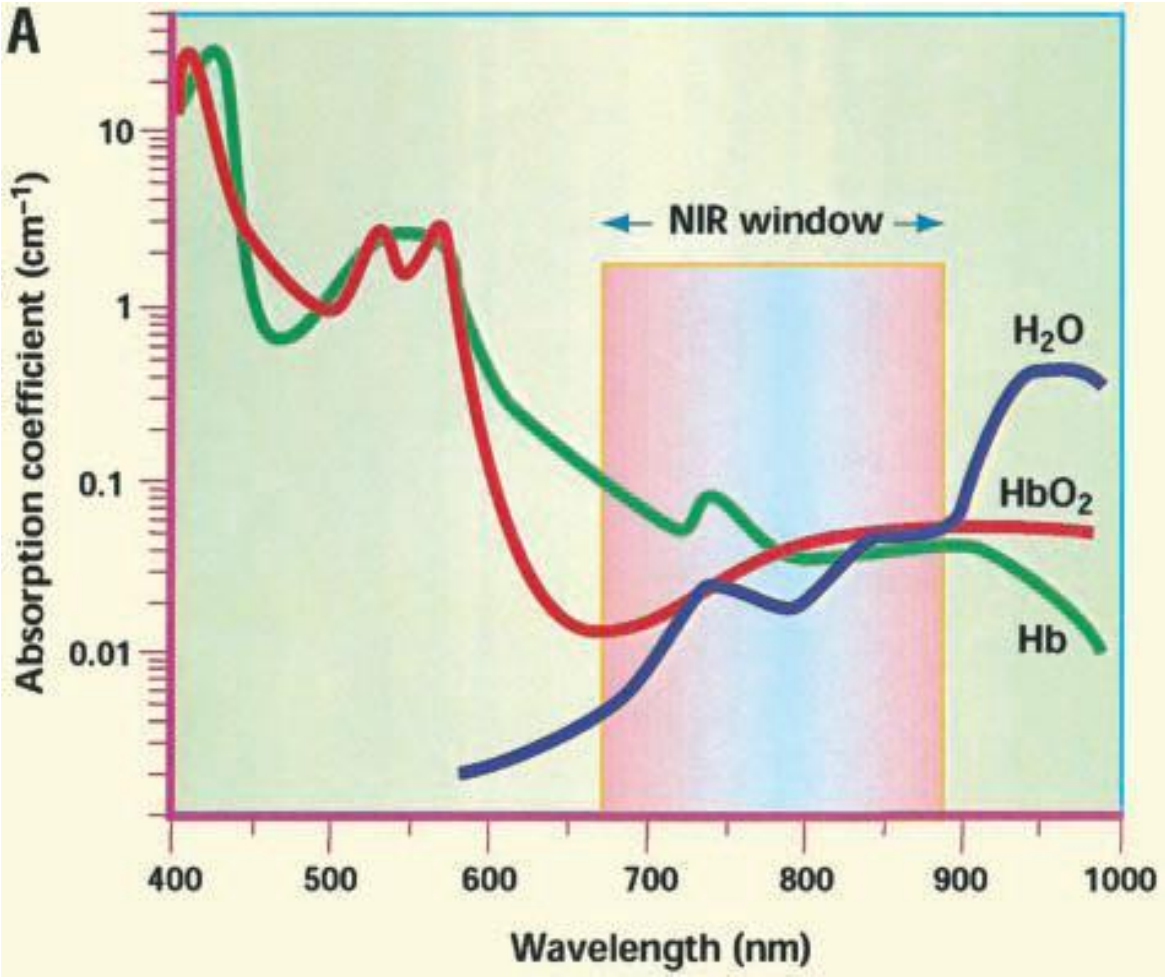
- وعندما يقع الجزء الممتص ضمن المجال تحت الأحمر المتوسط فيمكن استخدامه بالدرجة الأساسية في الجراحة (كما رأينا دراسة جسم الإنسان كجسم أسود فيزيائي حيث رأينا أن شدة امتصاصه تكون أعلى ما يمكن .
- وعندما يقع الجزء الممتص في مجال الأشعة فوق البنفسجية فيستخدم في معالجة الأورام ، وبالتأكيد ليس لتوليد فيتامين D

أطياف امتصاص حوامل اللون في النسيج البيولوجي الرخو



الميلانين في الجلد والهموغلوبين في الدم. تقع قمم الامتصاص النسبية للهموغلوبين عند الأطوال الموجية 280nmو420nm و540nm و580nm.

النافذة الضوئية أوالعلاجية



الامتصاص والانتثار absorption & scattering

- **الامتصاص**
- عندما تعرض جسيمات مشحونة ومرتبطة ارتباطاً مرناً لأمواج كهرطيسية تشرع الجسيمات بالحركة بتأثير الحقل الكهربائي.
- إذا كان تواتر الموجة مساوياً التواتر الطبيعي للاهتزازات الحرة لجسيم يحدث تجاوب مصحوباً بمقدار كبير من الامتصاص.

الامتصاص والانتثار absorption & scattering

- **الانتثار**
- يحدث الانتثار، عند تواترات لا تقابل التواترات الطبيعية للجسيمات.
- يؤدي الانتثار في هذه الحالة إلى تشتت الحزمة الرئيسية للأشعة والابتعاد عن مسارها الأصلي.

نوعا الانتثار: المرن واللامرن

- في **الانتثار المرن** يكون للفوتون الوارد والفوتون المنتثر الطاقة نفسها.
- في **الانتثار اللامرن** يفقد الفوتون جزءاً من طاقته على شكل طاقة ارتباط للجسيم الذي يرتبط به

أنواع الانتثار في النسج

- تحدث في النسج عدة أنواع من الانتثار لدى مرور موجة فيها يقع تواترها في مجال تحت الأحمر القريب (النافذة الضوئية) تبعاً لأبعاد الجسيمات فيها وهي:
- **انتثار ريليه Rayleigh scattering وهو انتثار مرن**
- **انتثار بريلوان Brillouin scattering (غير مرن)**
- **انتثار مي Mie scattering (غير مرن)**

انتثار ريليه Rayleigh scattering

- يحدث **انتثار ريليه** في الحالة التي تكون فيها أبعاد جسيمات الانتثار أصغر من طول موجة الإشعاع الوارد.
- تتناسب شدة الانتثار في انتثار ريليه عكسياً مع القوة الرابعة لطول الموجة، كما تتعلق بزاوية الانتثار وفق العلاقة:

$$I_s \sim \frac{1+\cos^2(\theta)}{\lambda^4}$$

انتثار ريليه Rayleigh scattering

إن انتثار ريليه انتثار مرن، أي إن للضوء المنتثر قيم الشعاع الموجي $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ والطول الموجي λ نفسها للضوء الوارد.

انتثار بريلوان Brillouin scattering

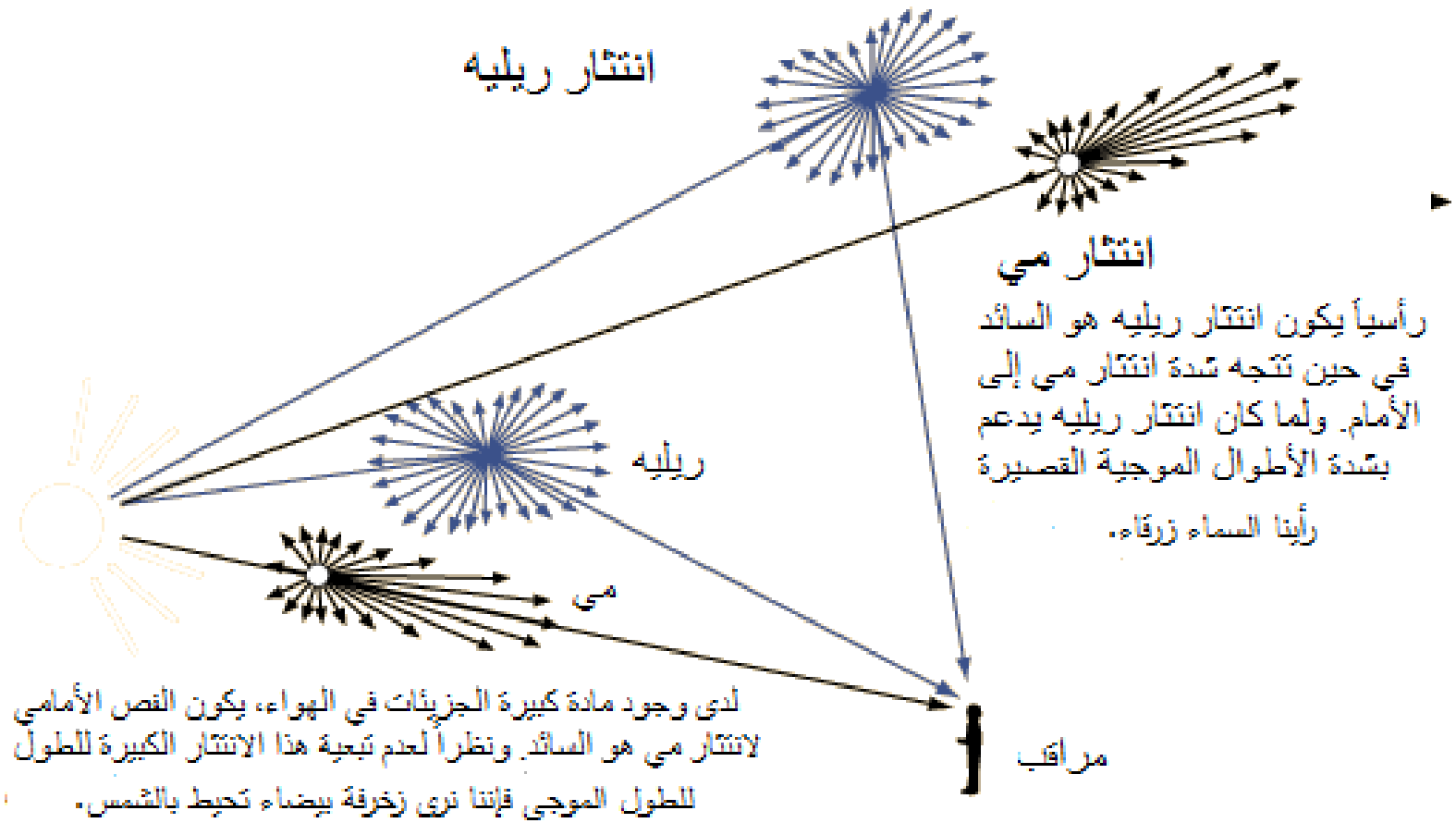
- ثمة نوع مهم من الانتثار غير المرن يعرف **بانتثار بريلوان**، ينجم عن تدخل الأمواج الصوتية التي تنتشر في وسط معين، ومِنْ ثَمَّ تحرِّض لا تجانسيات في قرينة الانكسار.
- يحدث انتثار بريلوان للضوء نحو تواترات أعلى (أو أخفض)، حسب ما تقترب الجسيمات الناثرة من المنبع الضوئي أو تبتعد عنه.

انتثار بريلوان Brillouin scattering

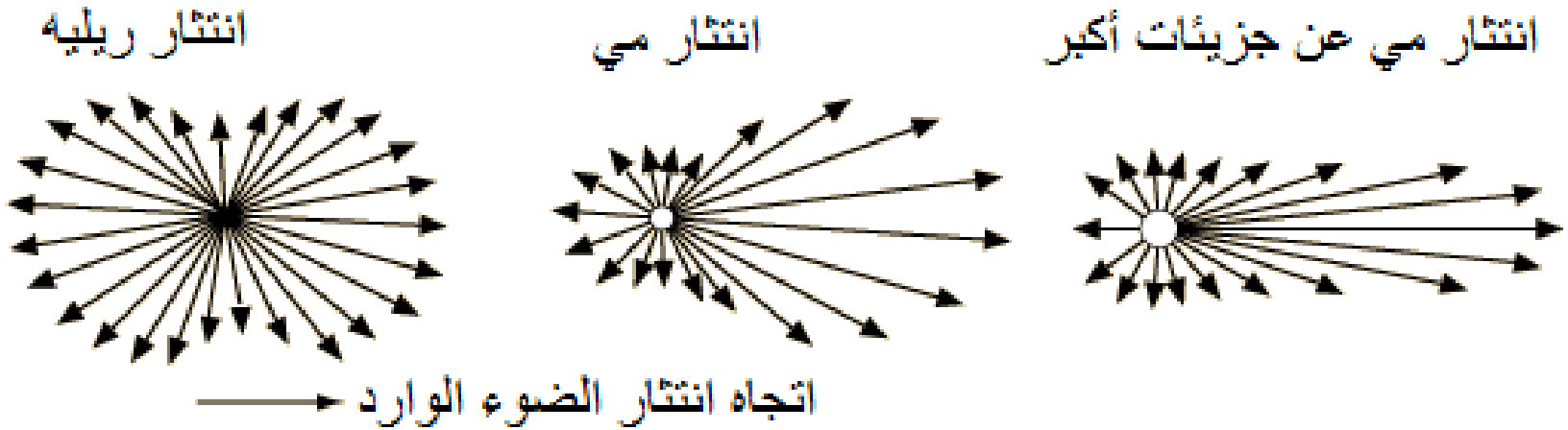
- ومِنْ ثَمَّ يمكن النظر إليه على أنه مفعول دوبلر ضوئي Optical Doppler effect،
- ينزاح فيه تواتر الفوتونات نحو القيم الأعلى أو الأخفض.
- غير أن انتثار بريلوان في تفاعلات الليزر مع النسج لا يصبح ملحوظاً إلاّ في أثناء توليد أمواج صادمة.

- قانون ريليه، $I_s \sim \frac{1+\cos^2(\theta)}{\lambda^4}$ لا يطبق إلاّ في حالة الأطوال الموجية البعيدة عن أي عصابة امتصاص.
- إذا كان يمكن مقارنة امتداد الجسيمات بطول موجة الإشعاع الوارد كخلايا الدم، يحدث نوع آخر من الانتثار يدعى انتثار مي Mie scattering (الشكلان التاليان).

الانتثار scattering



الانتثار scattering



- يختلف انتشار مي عن انتشار ريليه من حيث إن ارتباط الأول بالطول الموجي $\sim \lambda^{-x}$ أضعف منه في الثاني $\sim \lambda^{-4}$ ، حيث $0.4 \le x \le 0.5$ كما أن انتشار مي يحدث بشكل أفضل في اتجاه الأمام، بينما يتناسب انتشار ريليه طردياً مع $1+\cos^2(\theta)$ ، أي إن شدتيه الأمامية والخلفية متساويتان.

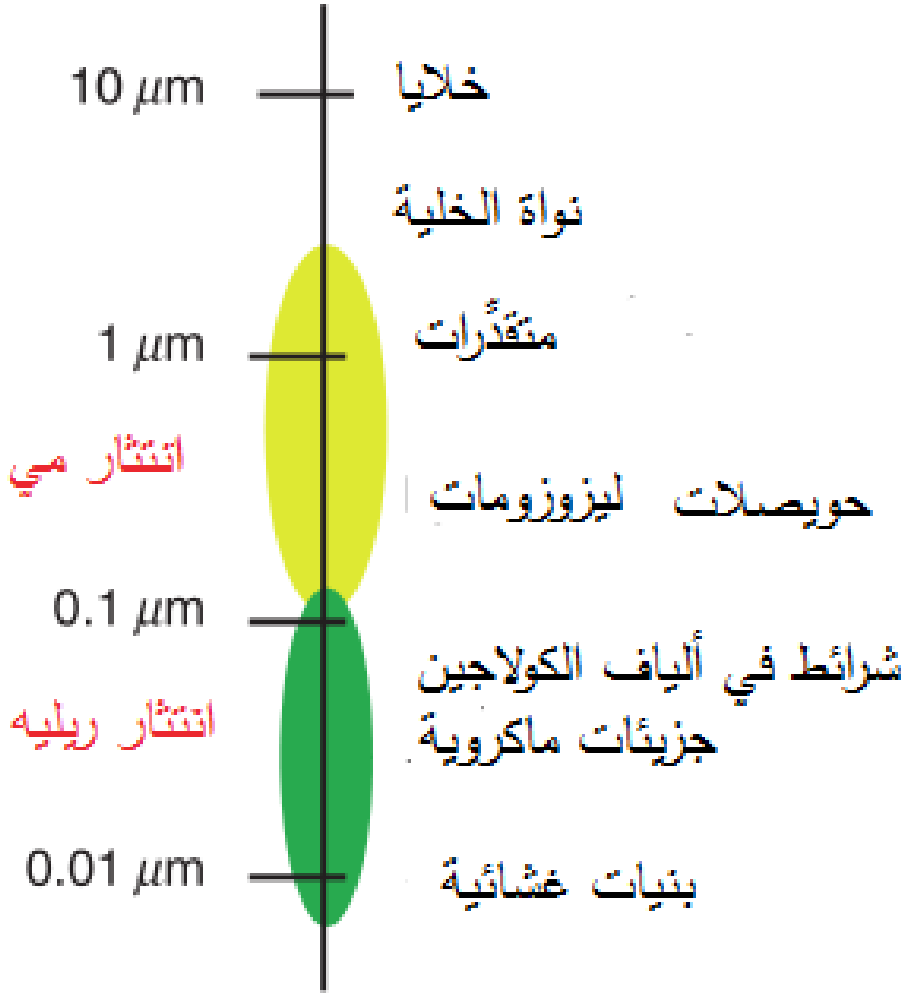
الانتشار في النسج

- وجد أن الفوتونات تنتشر في معظم النسج الحيوية بشكل أفضل في الاتجاه نحو الأمام. لكنه لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بانتشار ريليه.
- ومن جهة أخرى إن الاعتماد على الطول الموجي هو نوعاً ما أقوى مما يتنبأ به انتشار مي. ومِنْ ثَمَّ لا انتشار ريليه ولا انتشار مي يصف بشكل كامل الانتشار في النسج.

الانتثار في النسج

- ولهذا من المناسب جداً تعريف تابع احتمالية probability function p(θ) انتثار فوتون بزاوية θ يمكن أن تنسجم مع البيانات التجريبية.
- إذا كان p(θ) لا يعتمد على θ، فإننا نكون إزاء انتثار متماثل المناحي isotropic Scattering، وإلاّ يحدث الانتثار اللامتماثل المناحي anisotropic Scattering

انتشار ريليه ومي عن البنيات النسيجية



تعدد انتثار الضوء

- **الانتثار الأحادي single scattering:** يحدث عندما لا ينتثر الإشعاع إلّا عن مركز ناثر متوضع واحد قبل أن يبرز.
- **الانتثار المتعدد multiple scattering.** يحدث في أكثر الأحيان أن تتجمع المراكز الناثرة معاً، فينتثر الإشعاع مرات كثيرة.
- ينظر إلى الانتثار الأحادي عادة أنه ظاهرة عشوائية، في حين ينظر للانتثار المتعدد أنه ظاهرة إحصائية stochastic.

تعدد الانتشار

- يوفر الانتشار المتعدد للضوء في النسيج الحيوي مجساً آمناً رخيص الثمن وغير هجومي لأورام الدماغ والصدر والجلد.
- تستخدم الطريقة الضوئية في التصوير، نافذة متوسطة من الأطوال الموجية، تتأثر بتركيز الهموغلوبين المؤكسج في النسيج ومِنْ ثَمَّ توفر صورة تشخيصية مبكرة للعمليات الاستقلابية التي تقود للسرطان قبل التلف البنيوي الذي يسببه الورم.

تعدد الانتشار

- تجري حالياً بحوث ترمي إلى تطوير نظرية مجهرية لانتشار تابع ترابط الحقل الكهربائي بين نقطتين two-point electric field correlation function للضوء تحت الأحمر القريب الذي ينتشر وينتثر في نسيج حيوي يحوي لاتجانسية إحصائية (الورم).
- يبدي الورم امتصاصاً مفضلاً للضوء كما يمكن أن تختلف خصائصه الانتثارية عنها في حالة نسيج سليم. إذْ يتأثر هذا التابع الضوئي للنسيج باختلاف خصائصه الامتصاصية والانتثارية.

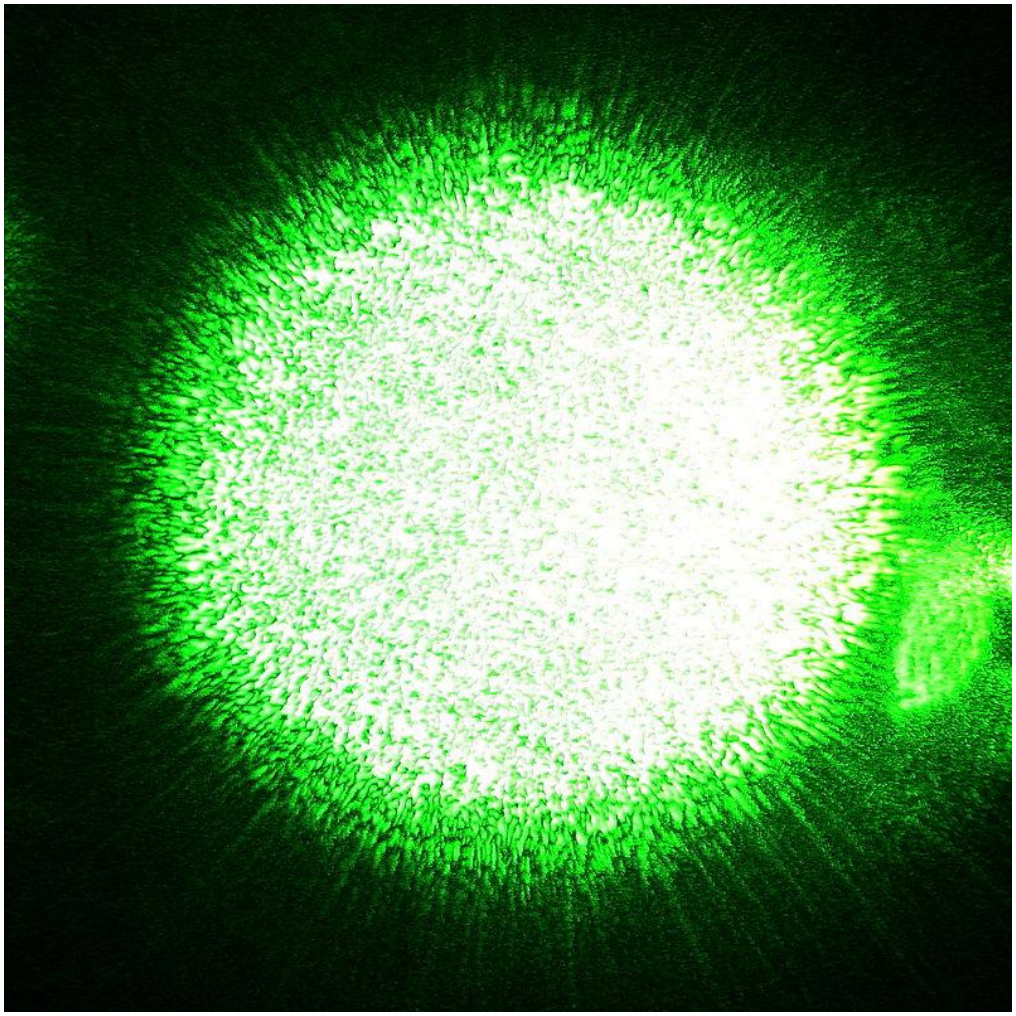
تعدد الانتشار

- يهدف البحث المذكور إلى فرز المعلومات الخاصة بخصائص النسيج التي يتضمنها حقل الموجة الضوئي بعد انتشاره عدداً كبيراً من المرات.
- يمكن لهذه الدراسة أن تحسن المقدرة الفاصلة للطريقة الضوئية بعدة مراتب، وتسهل إعادة بناء صور النسيج بمقدرة فاصلة على سلم طول موجة الضوء،
- كما أَن أدوات التصوير التي تعتمد على هذه النظرية آمنة ورخيصة الثمن وتلائم الاستخدام في مكتب الممارس العام. ثمة تطبيقات أخرى تتضمن القدرة على تشخيص أورام الجلد من دون اللجوء إلى الخزع وإجراء اختبار الدم من دون سحب الدم.

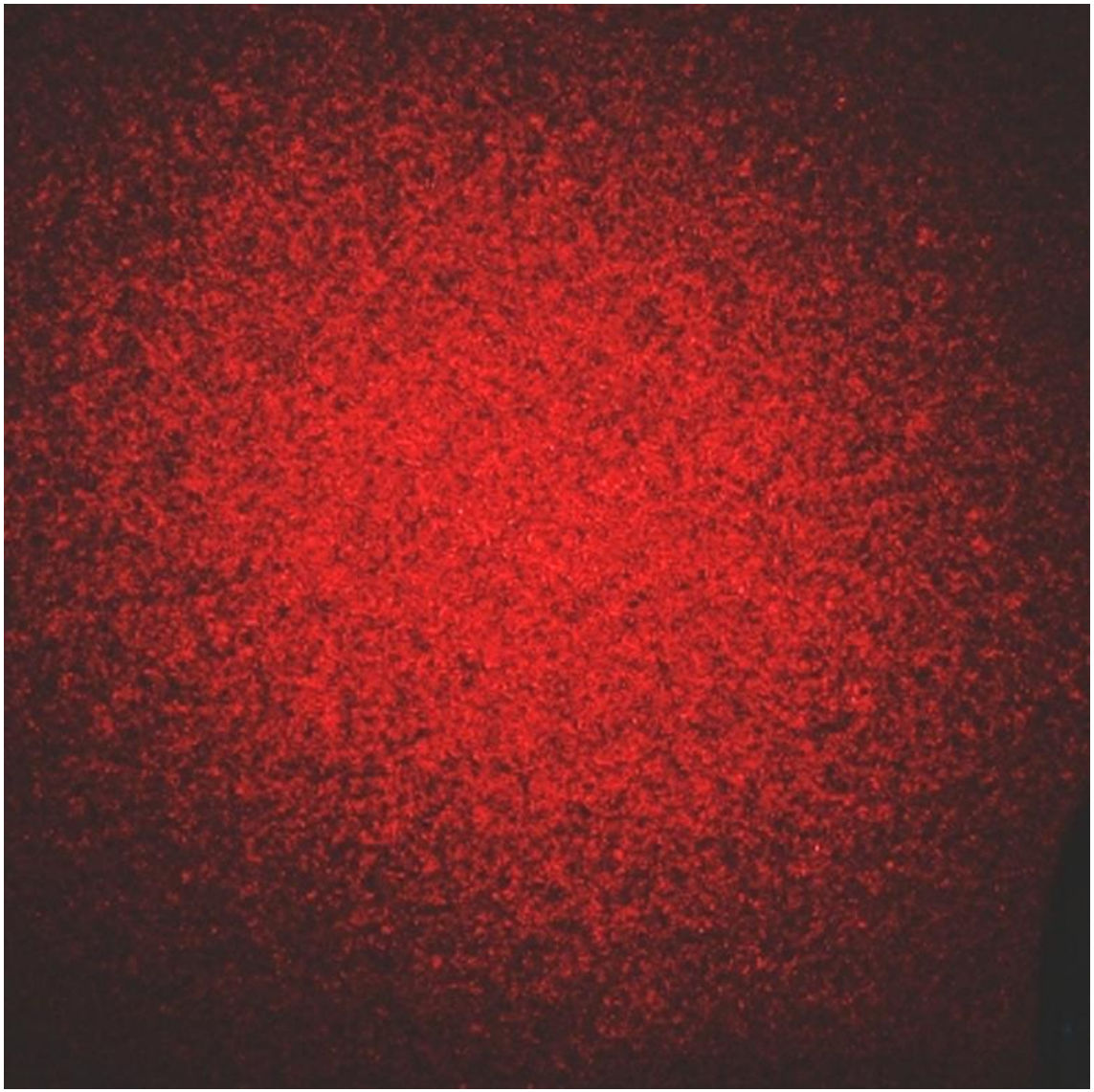
تعدد الانتشار

- يمكن للنسيج الحيوي، الذي يعدّ وسطاً ضعيف الامتصاص لطول موجي معين لكنه ينثره انتشاراً مضاعفاً، أن يستعمل في تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث وليزرة في وسط عشوائي تترافق بربح.

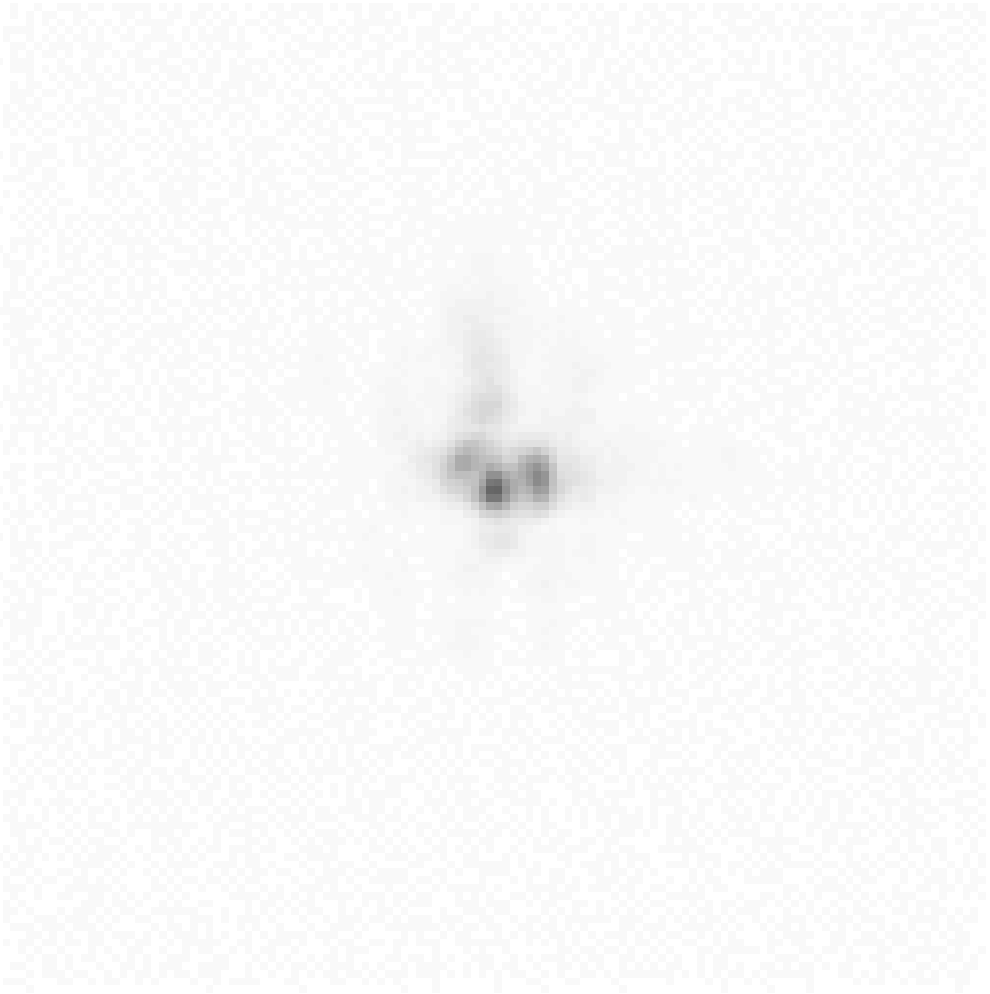
Speckles البقع



Speckles البقع



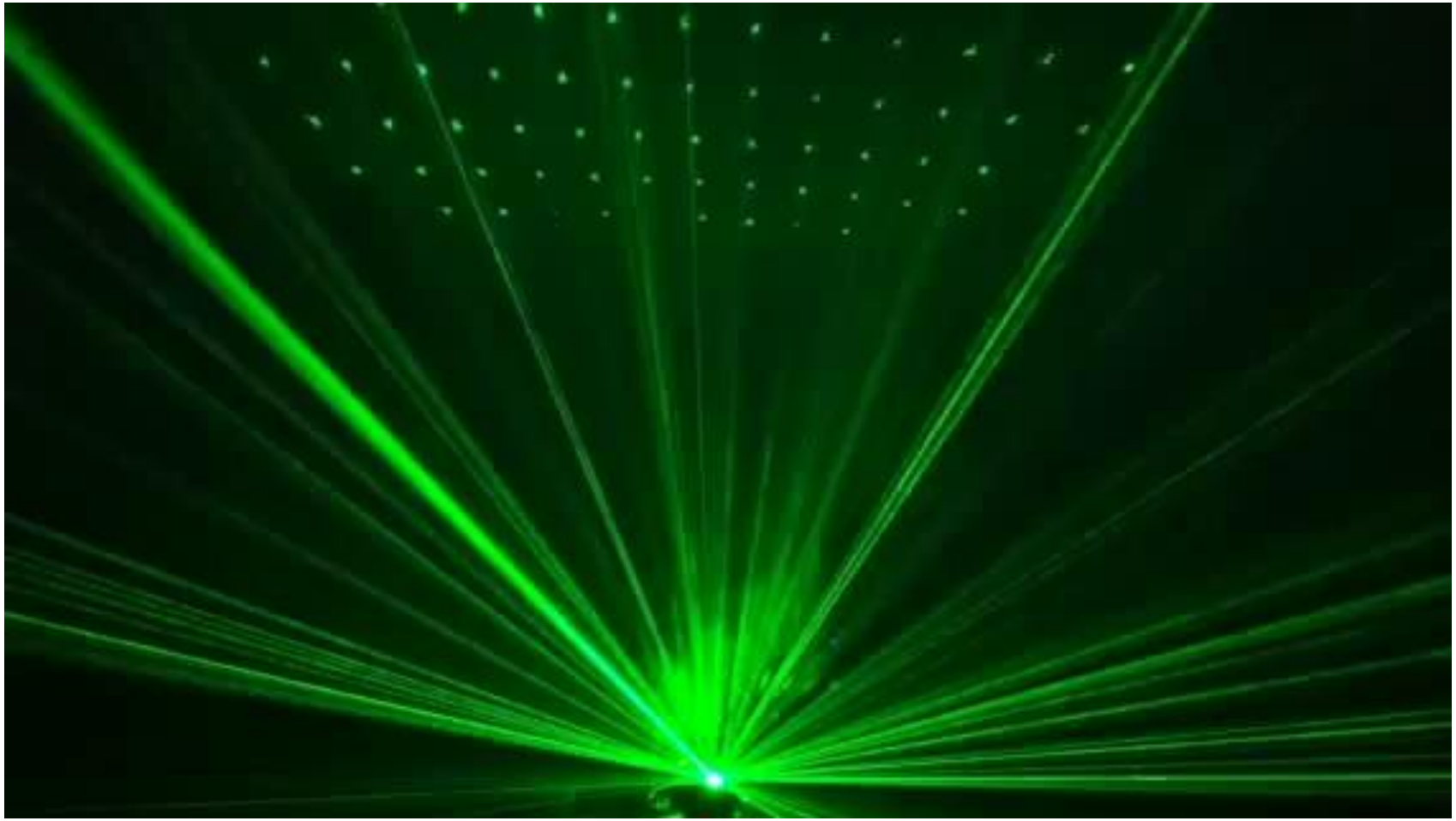
الحركة البطيئة للبقع Speckles



تعدد الانتثار

- كشفت التجارب الحديثة النقاب عن أن وسطاً متعدد الانتثار مشوباً بجزيئات صباغية يمكن أن يبدي مفعول ليزر متماثل المناحي عندما يضخ بشكل مناسب. يجري حالياً ابتكار نظرية مجهرية لهذه الأصبغة الليزرية.

تعدد انتثار الضوء



ليزر عشوائي.