الفصل العاشر

التصوير بالليزر

Laser Imaging

1- يفضل استعراض طرائق التصوير الحالية الأوسع انتشاراً بدءاً من التصوير الشعاعي ثم التصوير المقطعي المحوري المحوسب بالأشعة السينية وتصوير التجاوب المغنطيسي والتصوير بالصدى، الإيكوغرافي. ولكل منها مزاياها (من حيث ارتفاع المقدرة الفاصلة مثلاً والحصول على بنية تشريحية كما في الأشعة السينية وتصوير التجاوب المغنطيسي، ومن حيث الأمان كما في التجاوب المغنطيسي والإيكوغرافي، ومن حيث إظهار الحركة كما في الإيكوغرافي) وعيوبها (التعرض للإشعاع المؤين كما في الأشعة السينية والطب النووي، وضعف المقدرة الفاصلة كما في الطب النووي والإيكوغرافي.

2- من مزايا طرائق التصوير بالليزر أنها كلها مأمونة

أهداف هذا الفصل

- الامتصاص الثنائي الفوتون
- طرائق تصوير النسج بالليزر
- التقانة النانوية والفوتونيات
- الفلورة والتقانة النانوية ودورهما في الكشف عن الأورام

- 1- الامتصاص الثنائي الفوتون هو المبدأ الذي يعتمد عليه التصوير الليزري.
- 2- يجري التصوير الليزري ضمن النافذة الضوئية
- 3- التقانة النانوية تتضمن ابتكار مواد وأنواع بأبعاد تقع بين 1nm إلى 100nm، وقد أحدثت هذه التقانة مؤخراً ثورات مهمة في الفوتونيات الحيوية الطبية، وخاصة **التحليل والتشخيص والمعالجة** على المستوى الجزيئي والخلوي.

الضوء والتصوير

- لقي الضوء كتقنية ممكنة لتصوير النسج الحيوية مؤخراً اهتماماً كبيراً.
- يمكن في الفحوص النسيجية تمييز النسج غير الطبيعية من النسج الطبيعية بسبب الاختلاف في خصائصها الضوئية (كالامتصاص الضوئي أو الانعكاس، أو الانتشار أو البنية texture).
- ومِنْ ثَمَّ يمكن للتصوير الضوئي أن يكشف التباينات الضوئية موفراً معلومات إضافية للتشخيص الطبي.

- يجب التذكير بطرائق التصوير بالأشعة السينية التي سبقت دراستها، وبطرائق التصوير بالنظائر المشعة التي سندرسها في الطب النووي والتي لا تخلو من الأضرار، في حين أن التصوير بالضوء (النافذة الضوئية) مأمون تماماً

الامتصاص الثنائي الفوتون

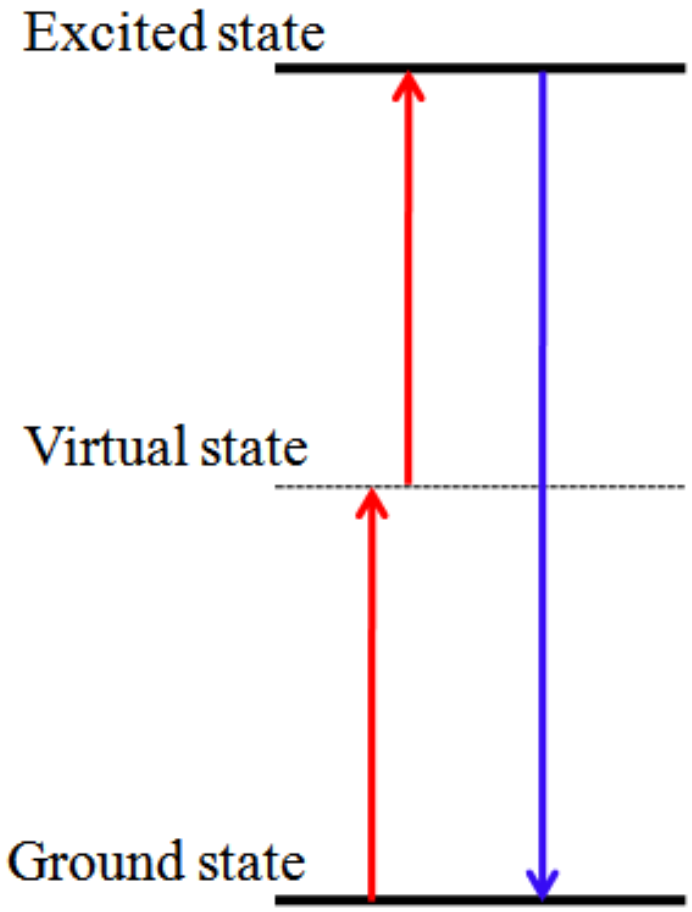
الامتصاص الثنائي الفوتون

Two-photon absorption (TPA)

هو الامتصاص الآني لفوتونين متماثلين أو مختلفين في التواتر لإثارة جزيء من حالة معينة (الحالة الأرضية عادة) إلى حالة إلكترونية طاقية أعلى.

الفارق الطاقي بين الحالتين الأعلى والأخفض في الجزيء يساوي مجموع طاقتي الفوتونين.

الامتصاص الثنائي الفوتون



الامتصاص الثنائي الفوتون

- عملية من المرتبة الثالثة أضعف من الامتصاص الخطي بعدة مراتب عند شدات ضوئية منخفضة.
- يختلف عن الامتصاص الخطي في أن معدل الانتقال الذري الناجم عن TPA يعتمد على مربع الشدة الضوئية، ومِنْ ثَمَّ فهو ظاهرة ضوئية لا خطية،
- يمكن أن يسود على الامتصاص الخطي عند الشدات العالية، ومِنْ ثَمَّ يجب أخذها في الحسبان عند استعمال ضوء ليزري.

- وقد جاء في أحد بحوث الليزر أن العين تدرك الأشعة تحت الحمراء على أنها خضراء اللون لدى توجيه حزمة ليزرية تحت حمراء إلى عيني أحد المتطوعين .
- في الحقيقة العين لا تدرك إلا المجال المرئي ولكن نظراً لأن الليزر يبدي خصائص لاخطية فيمكن أن يتم امتصاص اثنين من فوتوناته في آن معاً فيعطيان مفعول ضوء أخضر.

النسج البيولوجية والتصوير الليزري

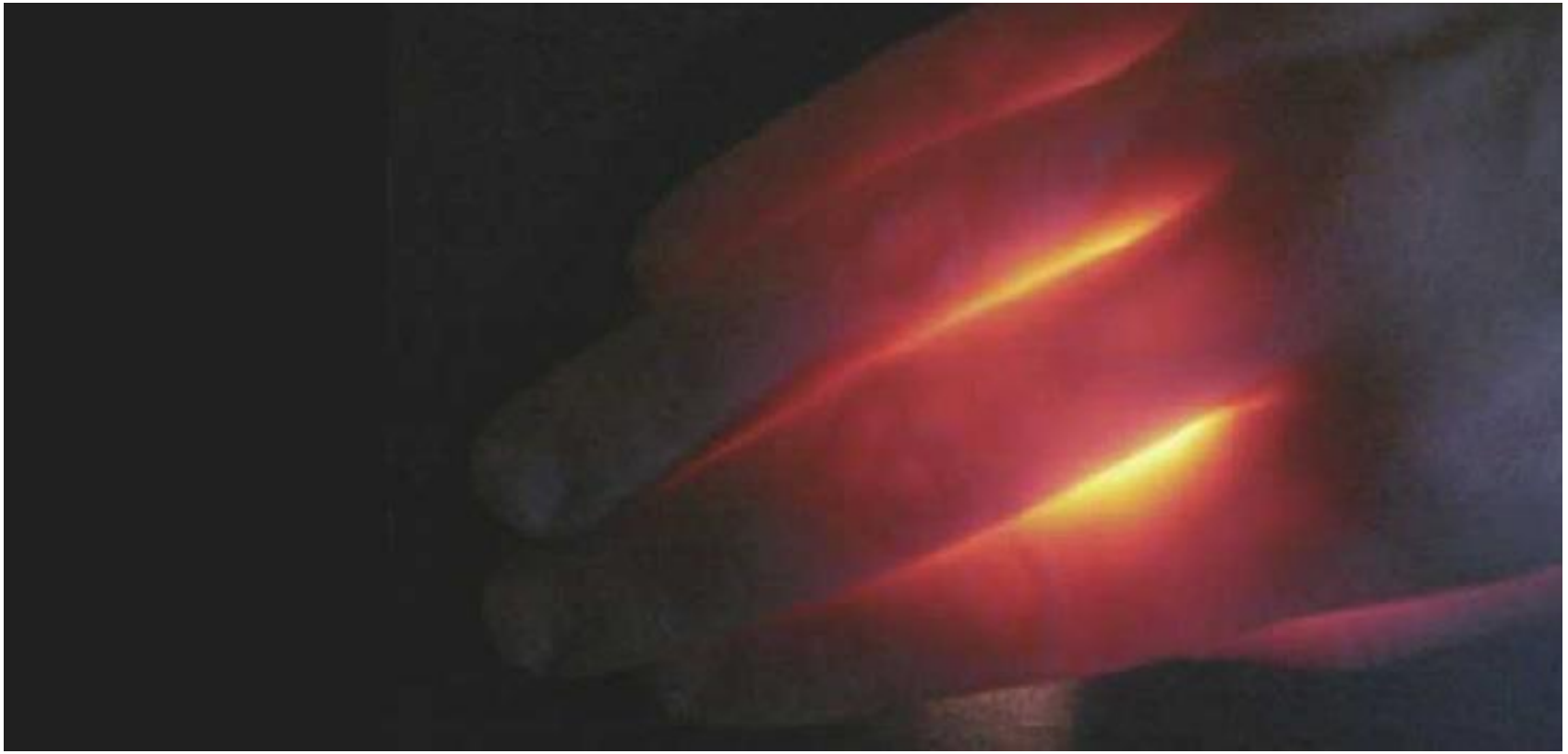
- إن النسج البيولوجية شفافة نسبياً في المجال تحت الأحمر القريب near infrared (NIR).
- غير أَنها أوساط شديدة النثر؛
- تتوافر طرائق تصوير متعددة بوجود الانتثار

النسج الحيوية والتصوير الليزري

- يتوافر عدد من تقنيات التصوير الليزري:
- **التصوير الضوئي المقطعي** optical coherence tomography التي نجحت في تعيين توزعات كل من الانتثار والامتصاص الضوئي في النسج الحيوية. مقدرتها الفاصلة لا تزيد على 1cm في العينات التي تزيد سماكتها على عدة سنتمرات.
- **التصوير الفوتوصوتي** photoacoustic imaging. مقدرتها الفاصلة أعلى.

- تكمن الفكرة الأساسية للتصوير الفوتوصوتي في استخدام الأمواج فوق الصوتية التي تنتشر بشكل أضعف بكثير منها في حالة الأمواج الضوئية، لتوفير معلومات تموضع أفضل للتصوير منها في حالة التقنيات الضوئية المحضة.

استكشاف الأعماق بالضوء المنتثر



يخترق الضوء النسج الحيوية بشكل جزئي إذا لم تكن ثخينة. إذْ يمكن ملاحظة ذلك بإضاءة اليد بمصباح جيب بسيط. ويمكن إدراك الضوء الذي يخترق الأصابع على ضعفه. لا يمكن تشكيل صورة مباشرة للنسج الداخلية بسبب انتثاره عنها، ولو أنه يمكن الاستفادة منه

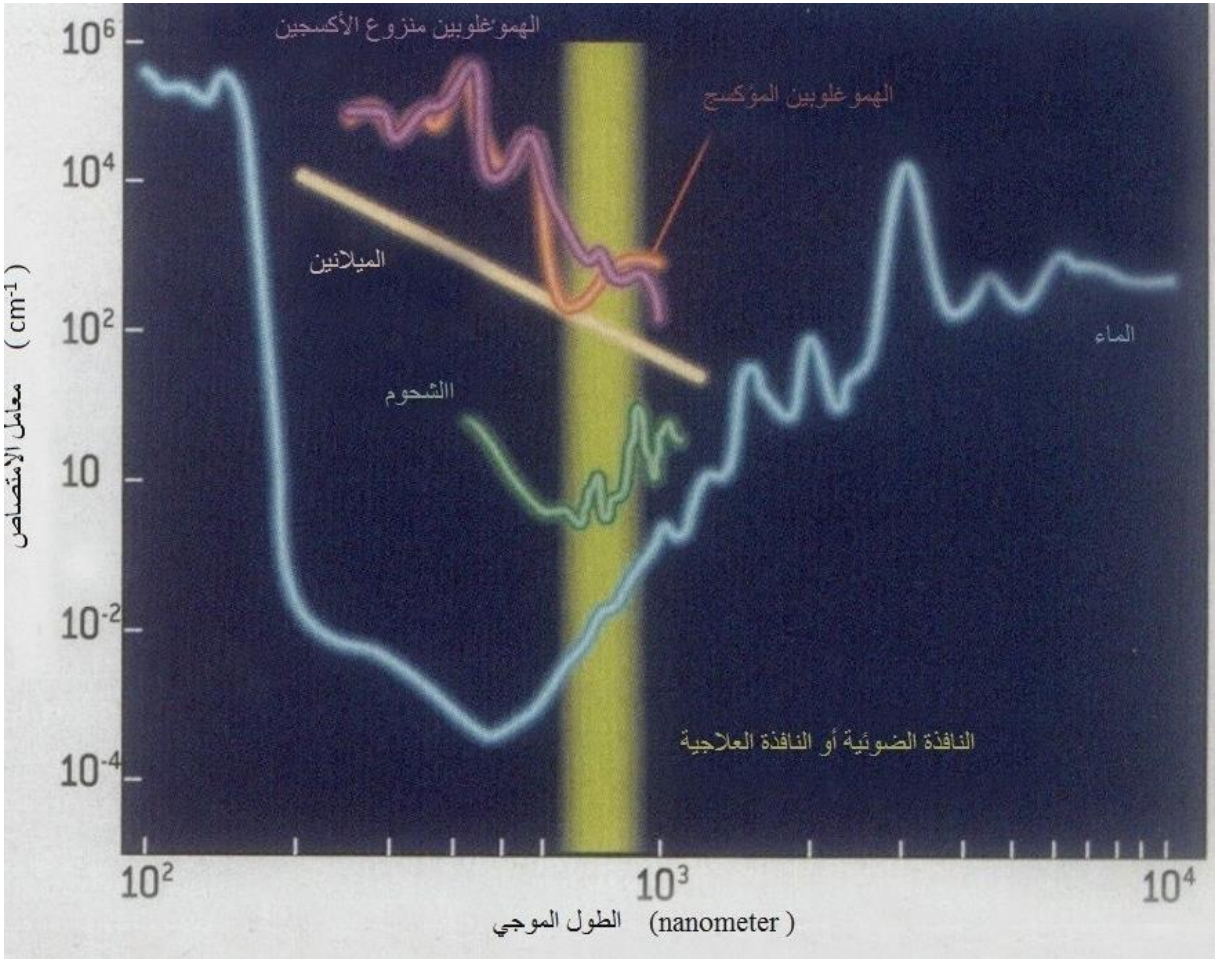
- 1- تخرج من العضو المضاء، حتى لو كان ثخيناً، إشارة ضعيفة تتمثل في الضوء المنتثر عن النسج المختلفة، من شأن هذه الإشارة الكشف عن الخصائص الضوئية لتلك النسج. يمكن التأكد من ذلك، بوضع مصباح جيب خلف اليد: حيث يمكن رؤية الضوء الأحمر الذي ينفذ منها
- 2- يمكن بالضوء المنتثر تصوير الأعضاء الرقيقة التي تقع ثخانتها بين سنتمترين اثنين وثلاثة سنتمترات على الأكثر بطريقة مأمونة. إذ يمكن، باستخدام منابع **ضوئية استطاعتها أكبر وأكثر تلاؤماً** من مصباح الجيب وبوجود **كواشف أكثر حساسية من العين**، بلوغ أعضاء أكثر عمقاً. تتطور هذه الطريقة منذ نحو عشرين عاماً وتزداد تطبيقاتها باستمرار في المختبر في دراسة فاعلية بعض الأعضاء وفي الأوساط الاستشفائية في التشخيص أو المتابعة السريرية لمختلف الإمراضيات.

التنظير الشفوفي diaphanoscopy

فحص الجيوب بالإنارة الداخلية بالضوء

ممرضة تبحث عن وريد في يد خديج بالإنارة الداخلية

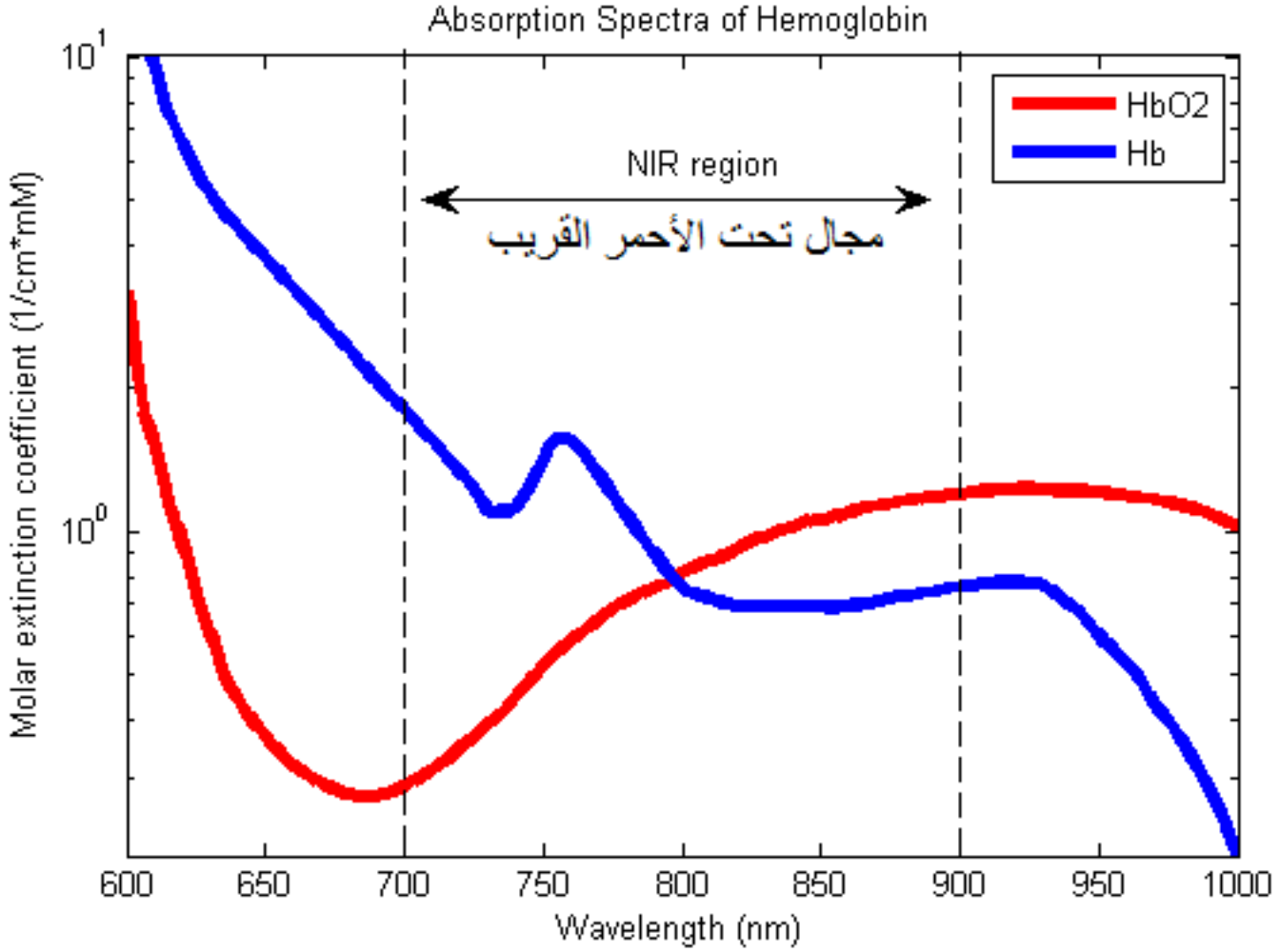
النافذة الضوئية وتغير معاملات امتصاص أهم مكونات النسج الحية بدلالة الطول الموجي



1- سبق أن تحدثنا عن النافذة الضوئية في الفصل السابق عندما تحدثنا عن خصائص إشعاع الليزر، ونتحدث عنها هنا ضمن إطار تصوير النسج بالليزر

2- تمتص النسج الضوء وتنثره خلال مجال واسع من الأطوال الموجية فلا يبرز منه لدى مغادرته لها إلاّ بصيص ضئيل. ومن الجدير بالذكر أن تخامد الضوء يختلف باختلاف الطول الموجي. فالدم الذي يروي الجسم يمتص الضوء المرئي بشدة. ينخفض هذا الامتصاص لدى الانتقال نحو الضوء الأحمر وتحت الأحمر القريب. ولهذا السبب يكون الضوء النافذ أحمر اللون. يكون امتصاص النسج للضوء، عملياً، أقل ما يمكن في المجال الطيفي الواقع بين 650nm و 950nm والذي يطلق عليه النافذة الضوئية.

طيفا امتصاص الهموغلوبين (النافذة الضوئية أو العلاجية)



من شأن هذا المجال الطيفي أن يحدد النافذة الضوئية (أو العلاجية) التي لا يتأثر التصوير الضوئي ضمنها كثيراً بالامتصاص. يظهر من الشكل، أن امتصاص نسيج معين للضوء يعتمد على كل من الطول الموجي والمكونات المختلفة للنسيج. يعد الهموغلوبين المؤكسج والهموغلوبين المنزوع الأكسجين من أكثر المكونات امتصاصاً للمجال المرئي وتحت الأحمر. غير أن قدرتهما الامتصاصية تكون أضعف ما يمكن بين الطولين الموجيين650nm (الأحمر) و950nm (تحت الأحمر)، الأمر الذي يحدد النافذة العلاجية التي لا يتأثر ضمنها التصوير الضوئي.

سبب انتشار الضوء في النسج

- يعود **انتشار الضوء** إلى **عدم تجانس النسج وتعقيدها** ضمن المقياس المجهري.
- الأمر الذي يعيق انتشار الأمواج الضوئية وفق خطوط مستقيمة إلاّ على مسافات متوسطة من مرتبة 20µm إلى 100µm.
- ولهذا السبب لا نرى صورة عظم اليد بهذه الطريقة خلافاً لما هو الحال في الأشعة السينية، فالضوء البارز لا يرسم مسقطاً هندسياً للبنى الداخلية.
- ويعد نثر النسج للضوء المشكلة الرئيسية التي يجب التغلب عليها في التصوير بالضوء المنتثر.

بطاقة (توزع) معامل الامتصاص

- يمكن توصيف وتكمية كل من امتصاص النسج للضوء الذي يمر بها وانتشاره عنها **بمعاملات الامتصاص والانتشار** التي تعطي معلومات عن تلك النسج.
- يرتبط معامل امتصاص نسيج معين للضوء بتركيبه الكيميائي.
- غالباً ما **تختلف النسج السليمة عن الورمية بترويتها أو بأكسجتها مثلاً ومِنْ ثَمَّ بلونها.**

بطاقة (توزع) معامل الامتصاص

- يكون حاملا اللون الرئيسيان في النافذة الضوئية أي المركبتان الرئيسيتان اللتان تحددان لون نسيج معين هما الشكلان المرجَع Hb والمؤكسَج HbO2 للهموغلوبين، اللذان يختلفان كثيراً بطيفي امتصاصهما (الشكل).
- يسمح قياس معامل الامتصاص عند طولين موجيين، بإهمال حوامل اللون الأخرى، باستنتاج تركيز الهموغلوبين المؤكسج والهموغلوبين المنزوع الأكسجين.

مقياس أكسجة النبض ومطيافية تحت الأحمر القريب

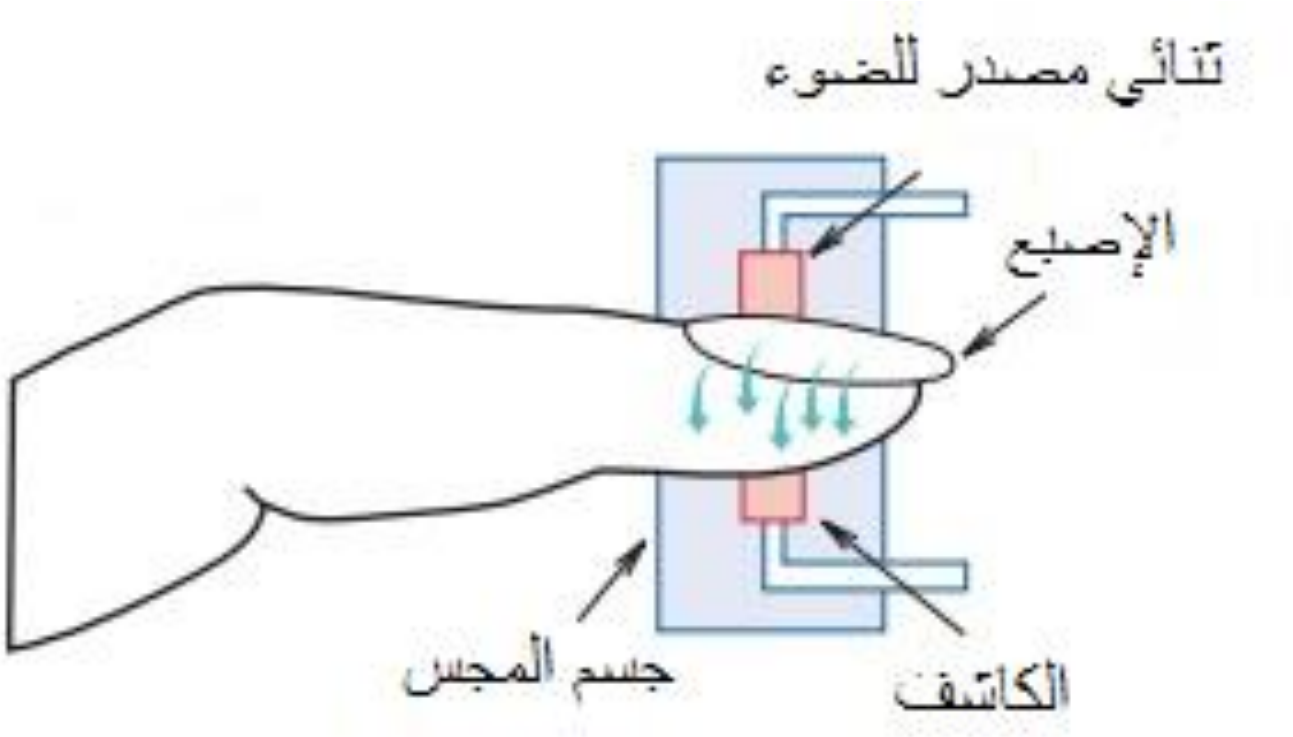
1- يعتمد مقياس أكسجة النبض على مطيافية تحت الأحمر القريب.

2- يستخدم في مراقبة نبضات القلب والإشباع الشرياني بالأكسجين،

3- حيث يوضع منبع ضوئي وكاشف إلى جانبي الإصبع أو شحمة الأذن بالاستعانة بملقط فيقيسان باستمرار **تخامد الضوء** الذي يعبر إصبع اليد أو شحمة الأذن

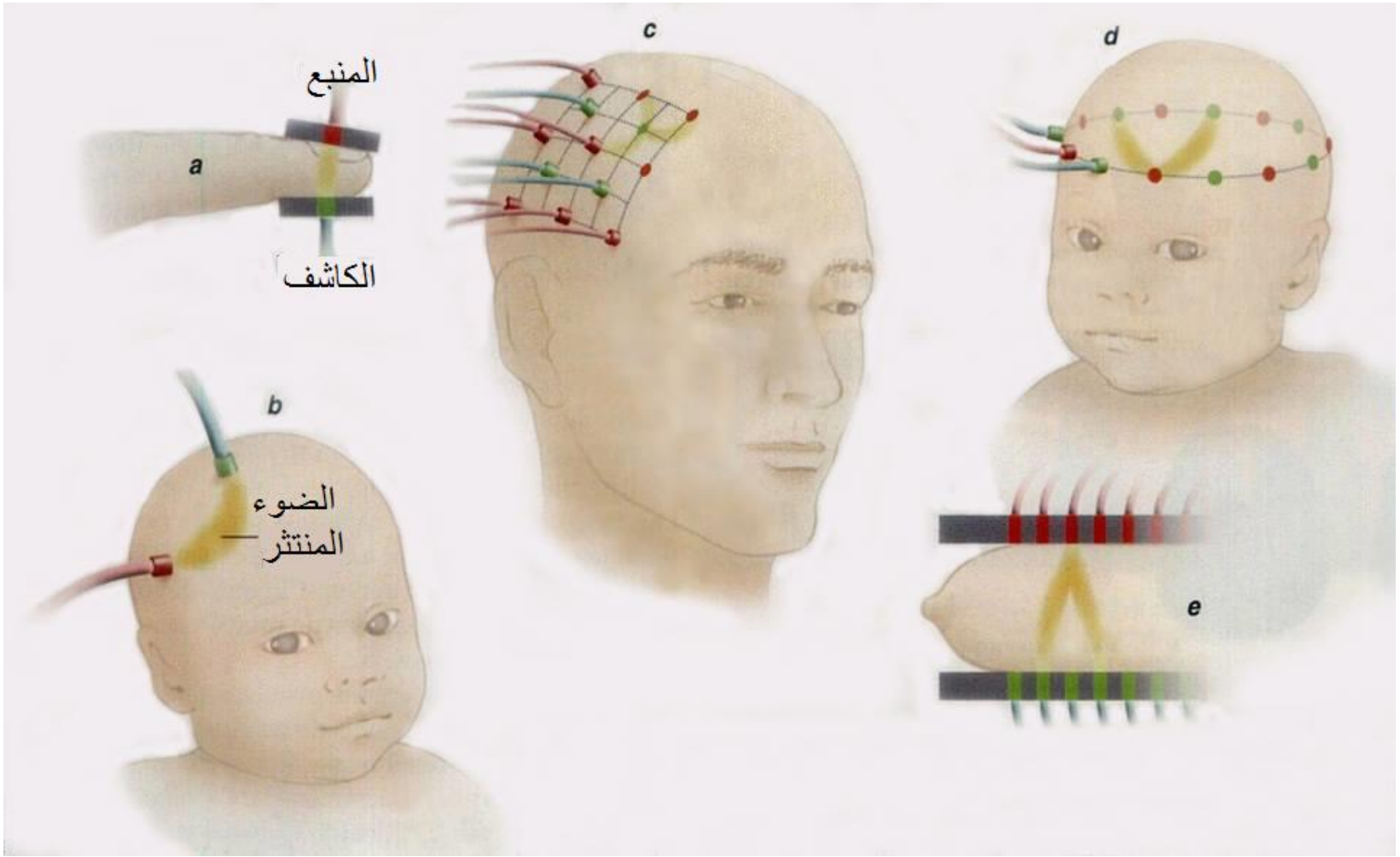
- 1- يعتمد مقياس أكسجة النبض pulse oxymeter على مطيافية تحت الأحمر القريب.
- 2- يستخدم في مراقبة رتم القلب (النبض) والإشباع الشرياني بالأكسجين،
- 3- حيث يوضع منبع ضوئي وكاشف إلى جانبي الإصبع أو شحمة الأذن بالاستعانة بملقط فيقيسان باستمرار **تخامد الضوء** الذي يعبر إصبع اليد أو شحمة الأذن
- 4- القيمة العلوية تدل على الإشباع الشرياني بالأكسجين، والقيمة السفلية تدل على النبض

المجس في مقياس أكسجة الدم



1- آلية عمل المجس في مقياس أكسجة الدم: ثنائيات مصدرة للضوء LEDs في مجس مقياس الأكسجة تطبق طولين موجيين من الضوء (أحدهما أحمر مرئي والآخر تحت أحمر في المجال القريب غير مرئي) على أحد جانبي إصبع اليد. بقياس كمية الضوء المارة في الإصبع واستنتاج الكمية التي امتصها أكسجين الدم، يمكن أن نقرأ على شاشة مقياس الأكسجة مقدار الإشباع الشرياني بالأكسجين وهي النسبة المئوية من كمية الأكسجين العظمى التي يمكن للدم أن يحملها، كما يمكن أن نقرأ تواتر النبض.

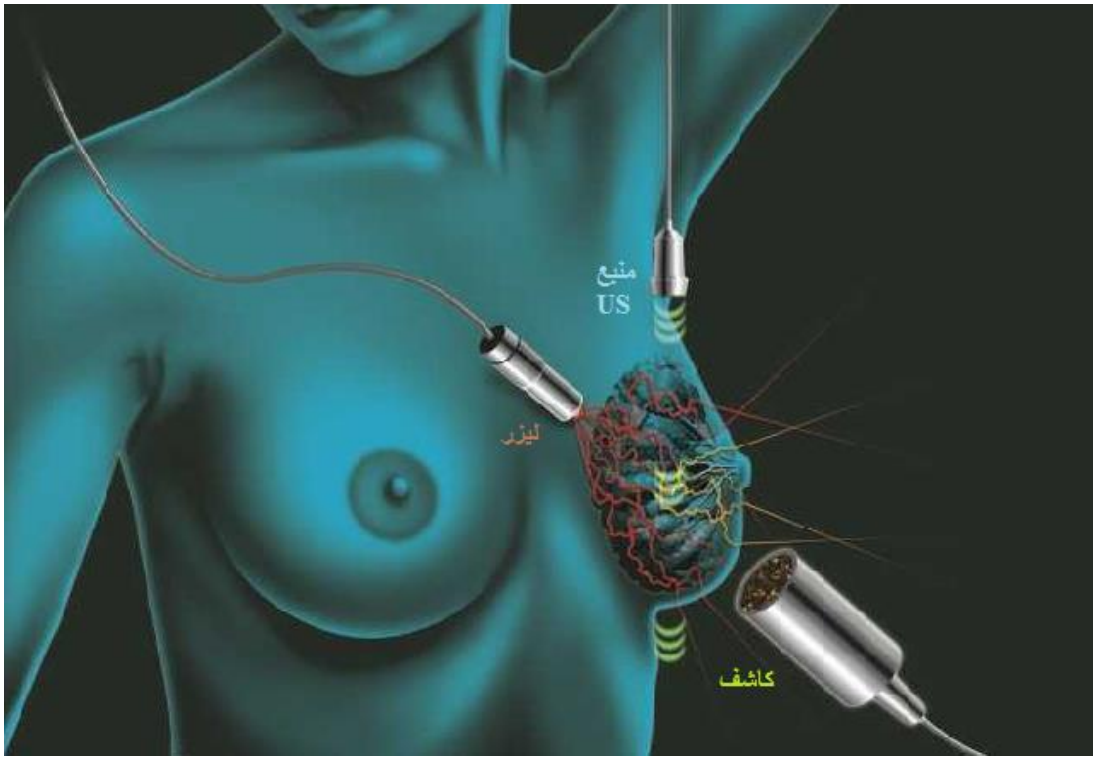
استخدام الضوء المنتثر في القياسات الموضعية

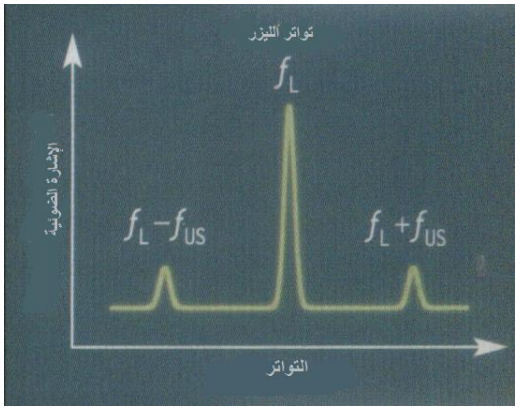


استخدام الضوء المنتثر في القياسات الموضعية.

- 1- بالاعتماد على المبدأ نفسه في مقياس أكسجة الدم يمكن إجراء القياسات الموجودة على الشكل.
- 2- في الشكلين إلى اليسار يتم الحصول على القيمة المتوسطة للإشباع الشرياني بالأكسجين
- 3- في الأشكال الأخرى التي تتضمن عدة منابع وعدة كواشف .. كل كاشف يستقبل الأشعة من عدة منابع وهنا يتم الحصول على القيمة المتوسطة للإشباع الشرياني بالأكسجين في كل فوكسل (عنصر حجمي) من المقطع الذي تمر به الأشعة من كل المنابع يتم تحويله إلى بكسل (عنصر صورة) بإعطائه درجة من السطوع على شاشة الكومبيوتر . تمثل الصورة الحاصلة بهذه الطريقة خارطة للإشباع الشرياني بالأكسجين ولو أن المقدرة الفاصلة فيها متدنية (من مرتبة السنتمتر).
- 4- يطلب من الطلاب الرجوع إلى طرائق الحساب التي مرت في الفصل الخامس في حالة اللجوء إلى التصوير المقطعي المحوسب بالأشعة السينية.

التصوير بالضوء الموسوم بالأمواج فوق الصوتية
Acousto-Optic Imaging (AO)



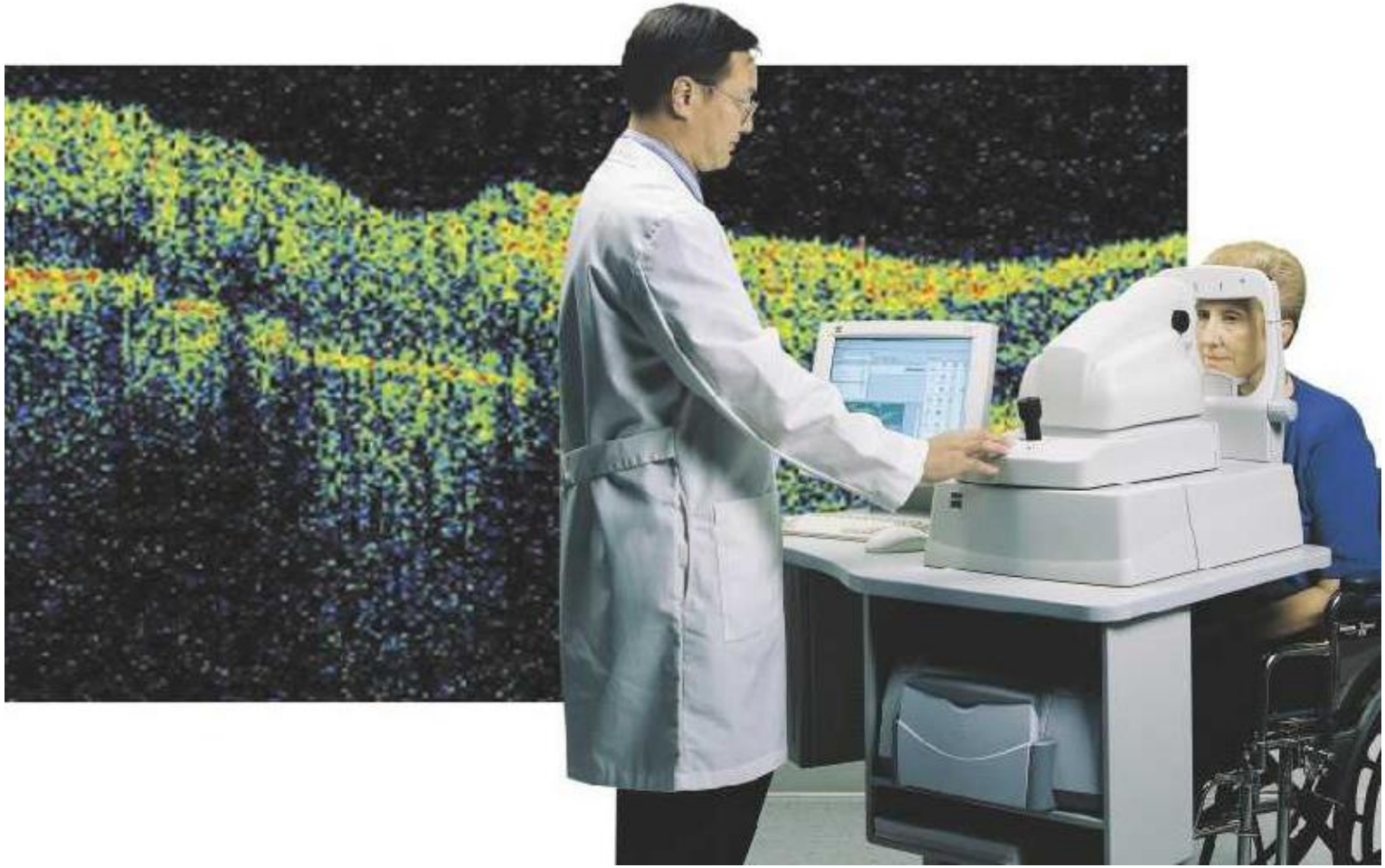


المركبات الرئيسية التي يتضمنها الضوء البارز من العضو المستكشف.

1- الإشارة إلى أن الأطوال الموجية المستخدمة في طرائق التصوير الليزرية تقع ضمن المجال تحت الأحمر القريب ، أي المجال المأمون الذي لا يحرق ولا يؤين.

2- يفضل الحديث عن مبدأ طريقة التصوير هذه التي يجري فيها وسم موجة ضوئية بنبضة فوق صوتية مع الإشارة على الشكل إلى المنبع الليزري الذي يصدر النبضات الضوئية ذات التواتر f_L والنبضة في الصوتية التي يصدرها منبع للأمواج فوق الصوتية Ultrasound US بالتواتر f_{US} عمودياً على النبضة الليزرية. يتم الكشف عن الضوء البارز بكاشف يقع في الجهة المقابلة لليزر. يتضمن الضوء البارز ثلاث مركبات تواترية رئيسية تظهر على الشكل المدرج على السلايد : الأكبر تخص تواتر النبضة الليزرية، ثم المركبتان إلى جانبيها إحداهما تمثل تواتر النبضة الليزرية مضافاً إليها تواتر الموجة الصوتية وأخرى تواتر النبضة الليزرية مطروحاً منها تواتر الموجة الصوتية

التصوير المقطعي بالترابط الضوئي
OCT(Optical Coherence Tomography)

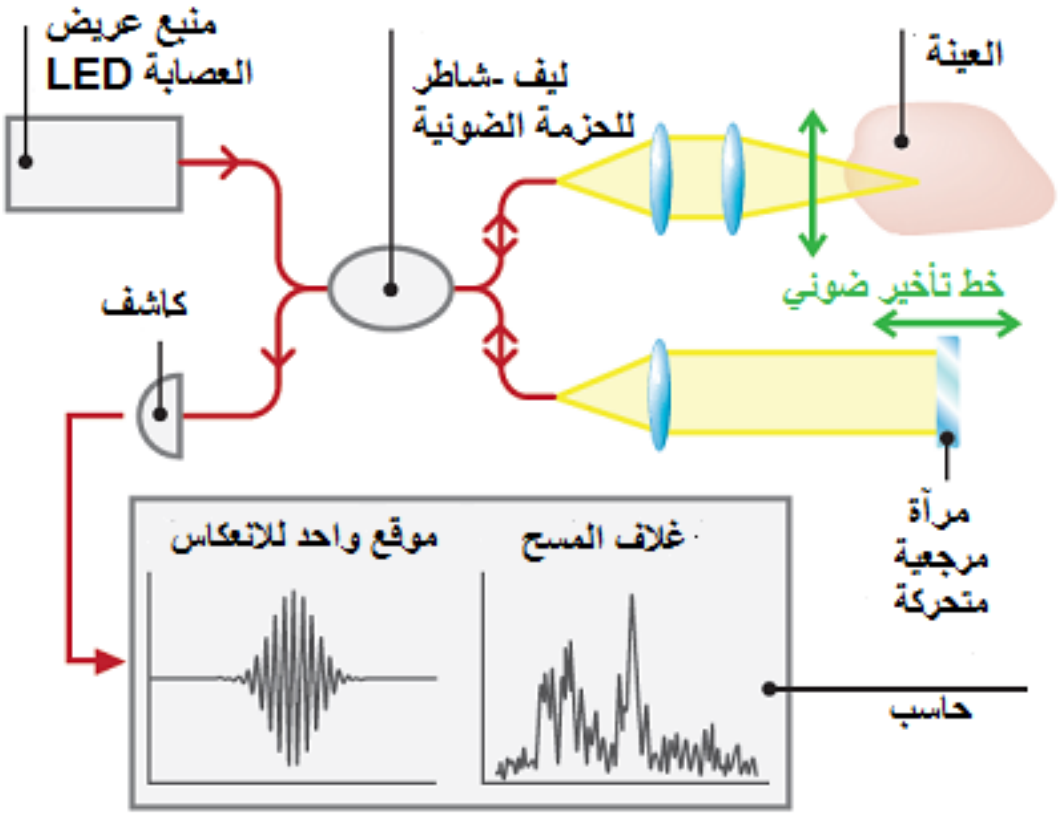


1- يستخدم تصوير الترابط الضوئي في العينية على نطاق واسع. نرى في الصورة أعلاه مريضة تخضع لفحص الشبكية. كما تظهر في الخلفية. صورة لشبكية العين.

2- يطلق عليها أحياناً الإيكوغرافي الضوئي لأن الموجة الضوئية التي تستخدم لاستكشاف نسج شبكية العين تنعكس عند السطوح الفاصلة بين أوساط الشبكية المختلفة .

3- يطلق على هذه الطريقة أحياناً أخرى الخزع الضوئي، لأنه يجري فحص الشبكية بالضوء

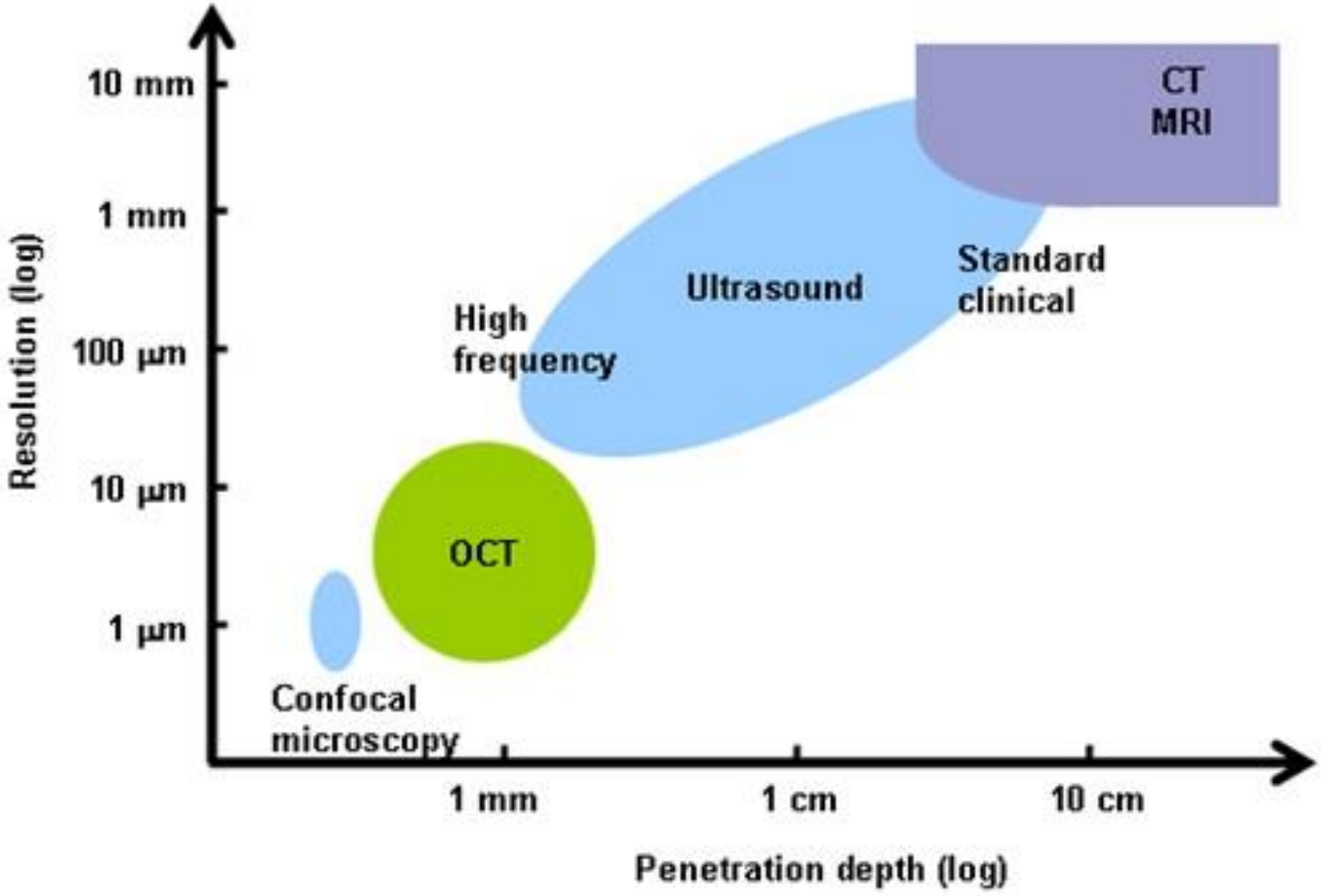
مقياس مايكلسون والـ OCT



مقياس مايكلسون التداخلي ذو الألياف الضوئية يتم فيه تغيير فرق المسير الضوئي بالمرآة المرجعية بهدف الحصول على شكل للتداخل بدلالة العمق.

1- الإشارة إلى مرور مقياس مايكلسون في فصل الضوء والحديث عن أهميته في طرائق التصوير الليزرية التي تتطلب شطر الحزمة الليزرية إلى شطرين متساويين يتم إمرار أحدهما في العينة ويجعل الآخر ينعكس عن مرآه مرجعية ، ويتم الحصول على شكل التداخل بدلالة العمق. حيث يتحقق التداخل عند عمق معين في العينة (الشبكية في هذه الحالة) بتحريك المرآة يحيث يجعل فرق الطور بين الشطرين مساوياً الصفر (كما هو مبين على الشكل من أجل عمق واحد للانعكاس . وإذا أردنا تحقيق التداخل من أجل أعماق أخرى يتم تحريك المرآة حتى ينعدم فرق الطور مرة أخرى بين الحزمتين.

المقدرة الفاصلة لمجموعة من تقنيات التصوير بدلالة العمق.



1- من الضروري بعد دراسة طرائق التصوير الحديث عن المقدرة الفاصلة فيها والمقارنة فيما بينها كما هو مبين على الشكل.

2- ولذلك نبدأ بالإشارة إلى دلالة كل من المحورين الإحداثيين على الشكل ، حيث يدل المحور الأفقي على العمق الذي يمكن أن تبلغه الموجة المستخدمة في التصوير مقدراً بالسنتمترات على سلم لغارتمي، ويدل المحور الشاقولي على المقدرة الفاصلة لتقنية التصوير مقدرة بالمكرومتر أو الملمتر على سلم لغارتمي أيضاً

3- استعراض تقنيات التصوير المختلفة وهي المجهرية المتحدة البؤرة Confocal Microscopy، ثم التصوير المقطعي للترابط الضوئي OCT كلاهما يستخدم الضوء (أو تحت الأحمر القريب) ومن ثم يقتصر عمق المنطقة المصورة في الأولى على كسر من الملمتر في حين يصل العمق المصور في الثانية إلى بضعة ملمترات كما في تصوير الشبكية، وتشتركان إلى حد كبير في ارتفاع مقدرتهما الفاصلة التي تقدر من مرتبة المكرومترات.

4- يعقب ذلك تقنية التصوير بالأمواج فوق الصوتية التي تكون مقدرتها الفاصلة أعلى بقدر ما يكون التواتر المستخدم في التصوير أعلى(تكون المنطقة التي تبلغها الموجة في هذه الحالة أقل عمقاً نظراً لتخامد التواتر العالي بالقرب من السطح) وتكون المقدرة الفاصلة أدنى في حالة التواترات الأخفض (الطول الموجي الأطول الذي يبلغ نقاطاً أعمق)

5- الإشارة إلى أننا سنتعرف على الأمواج فوق الصوتية أكثر بدءاً من الفصل 12

6- ثم تقنيتي الرنين المغنطيسي والتصوير الطبقي المحوري اللتين تكون مقدرتهما الفاصلة بين بضعة ملمترات والسنتمتر وهي أضعف منها في التقنيات السابقة

التقانة النانوية والفوتونيات Nanotechnology & Photonics

- تتضمن التقانة النانوية، ابتكار مواد وأنواع بأبعاد تقع من 1nm إلى 100nm،
- أحدثت التقانة النانوية مؤخراً ثورات مهمة في الفوتونيات الحيوية الطبية،
- وخاصة **التحليل والتشخيص والمعالجة** على المستوى الجزيئي والخلوي.

التقانة النانوية والفوتونيات Nanotechnology & Photonics

- وقد أدى الجمع بين التقانة النانوية الجزيئية والفوتونيات،
- إلى فتح المجال أمام إمكانية استخدام أدوات نانوية في الكشف عن الذرات والجزيئات
- وتداولها في مجموعة كبيرة من التطبيقات الطبية على المستوى الخلوي.

التقانة النانوية والفوتونيات Nanotechnology & Photonics

- وظهر جيل جديد من أدوات الكشف **عن الآليات الخلوية** وإلقاء الضوء على **عمليات حياتها الأساسية** التي تحدث **على المستوى الجزيئي.**
- وتعقب **العمليات الكيمياحيوية** في الأوساط داخل الخلوية في الجسم الحي باستخدام **مجسات جزيئية متفلورة ومحسات نانوية.**

التقانة النانوية والفوتونيات Nanotechnology & Photonics

- يمكن اليوم استكشاف **التفاعلات الفوتوكيميائية** والبنيات دون المجهرية في الخلايا الحية بمقدرة فاصلة لم يسبق لها مثيل باستخدام أدوات مجهرية فعالة.
- يمكن حالياً ابتكار **حوامل نانوية للدواء تقترن أغلفتها بأجسام مضادة** antibodies لاستهداف مولدات الأضداد antigens، والكروموفورات المتفلورة fluorescent chromophores للتعقب في الجسم الحي.

الكروموفور أو حامل اللون A chromophore

- هو جزء من جزيء مسؤول عن لون الجزيء.
- ينشأ اللون عندما يمتص جزيء أطوالاً موجية معينة من الضوء المرئي ويمرر أو يعكس أطوالاً موجية أخرى.
- وحامل اللون هو منطقة في الجزيء، حيث يقع فارق الطاقة بين مدارين جزيئيين مختلفين فيه ضمن مجال الطيف المرئي.
- ومن ثم يمكن للضوء المرئي الذي يسقط على الكروموفور أن يُمْتَص بإثارة إلكترون من حالته الأرضية إلى حالة مثارة .

الفلورة Fluorescence

- هي إصدار الضوء من مادة سبق لها أن امتصت الضوء أو أي إشعاع كهرطيسي آخر. وهي شكل من أشكال التألق.
- يكون للضوء الصادر، في معظم الحالات، طول موجة أطول ومِنْ ثَمَّ طاقة أخفض من الإشعاع الممتص.
- تحدث الأغلبية الساحقة لأمثلة الفلورة عندما يقع الإشعاع الممتص في مجال الأشعة فوق البنفسجية من الطيف ومِنْ ثَمَّ غير مرئي بالعين المجردة، في حين يقع الضوء الصادر في المجال المرئي.

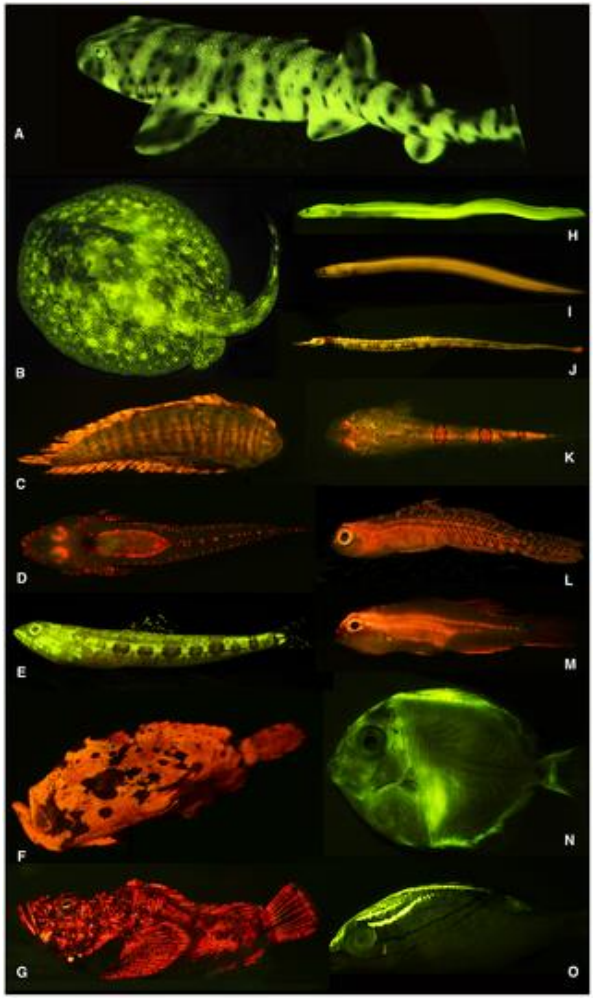
تطبيقات الفلورة

- الحساسات الكيميائية (مطيافية الفلورة)
- والوسم بالفلورة (عملية ربط جزيء فلورة بجزيء آخر كأن يكون بروتيناً أو حمضاً نووياً، ويتم هذا الأمر باستخدام مشتق تفاعلي للجزيء المتفلور، يرتبط اصطفائياً بمجموعة وظيفية موجودة في الجزيء الهدف)،
- والأصبغة والكواشف البيولوجية.
- يغلب حدوث الفلورة أيضاً في الطبيعة في بعض الفلزات وفي مختلف الحالات البيولوجية في كثير من فروع المملكة الحيوانية.

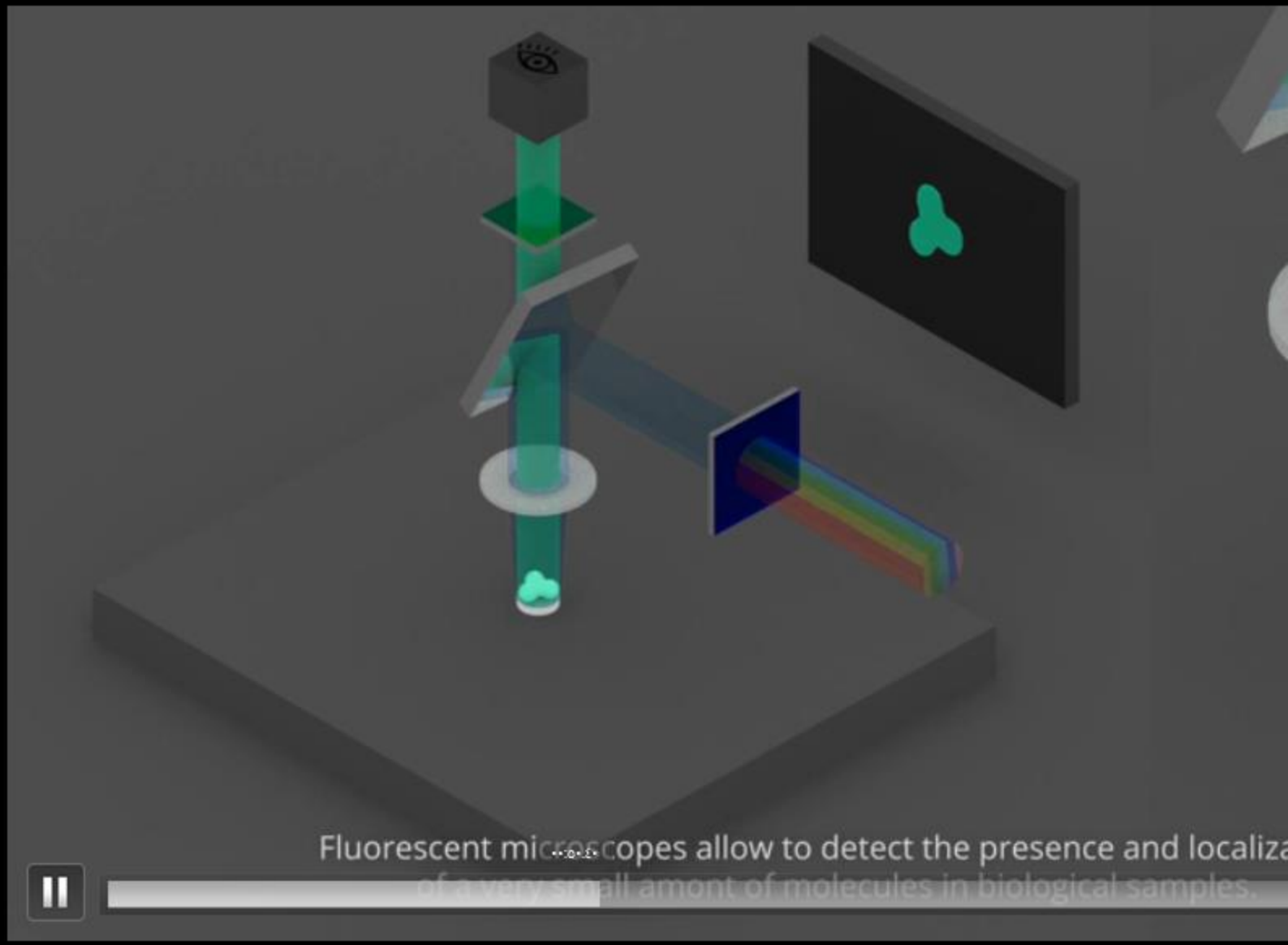
Fluorescence of Aragonite

فلزات متفلورة تصدر الضوء المرئي لدى تعرضها للضوء فوق البنفسجي

عقرب مضاء بالضوء الأسود UVA

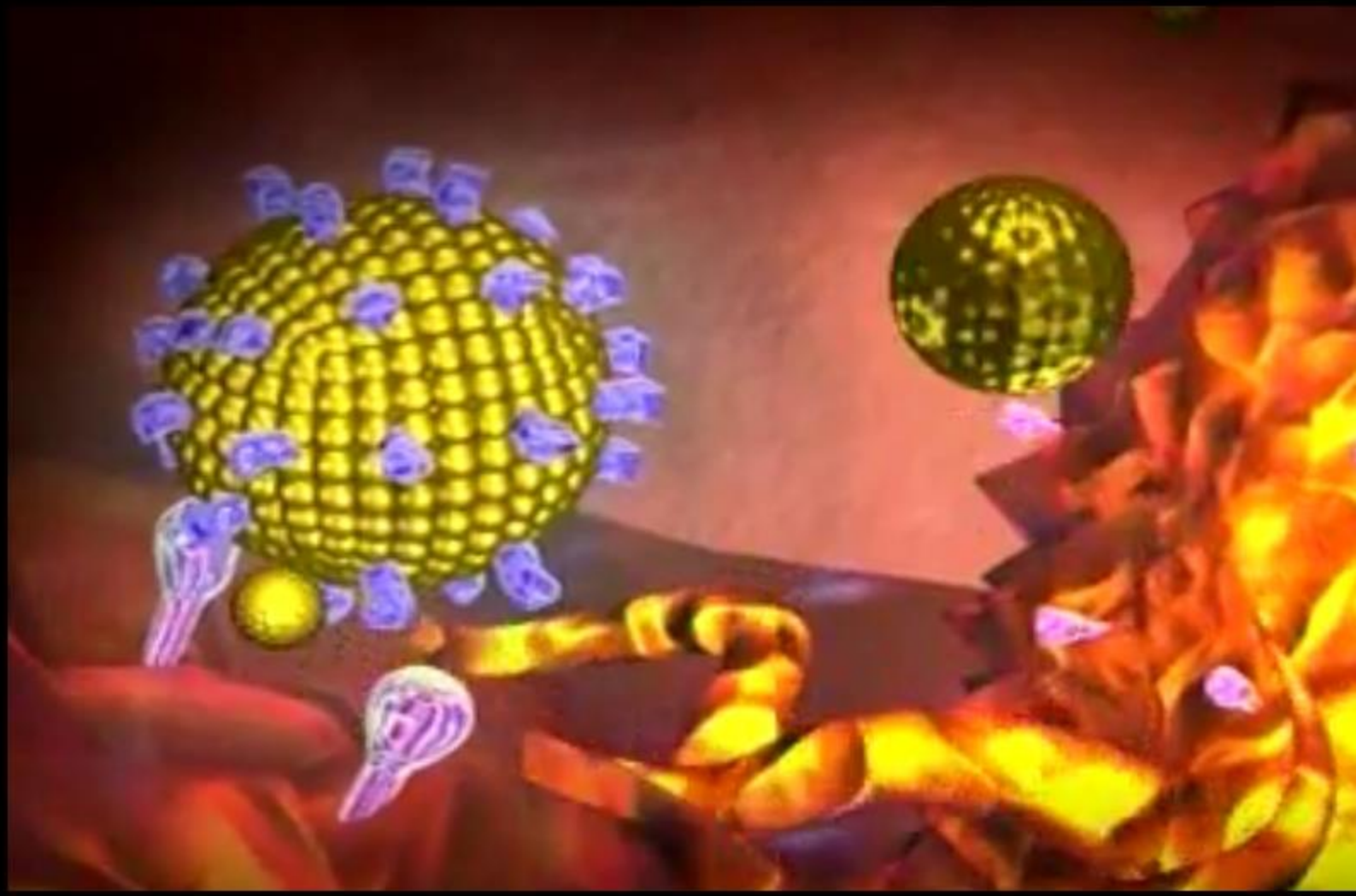


تنوع في أشكال وألوان فلورة الأسماك البحرية


Fluorescent microscopes allow to detect the presence and localiza
of a very small amont of molecules in biological samples.

مجهر الفلورة هو مجهر ضوئي يستخدم عينات متفلورة، يتكون من عدسات مكبرة ومرآة ثنائية اللونية ومرشحات. يختار المرشح الأول الضوء الذي يثير حوامل اللون التي تحويها العينة (الأزرق هنا). يضيء الضوء الأزرق جزءاً كبيراً من العينة. عندما تضاء حوامل اللون في العينة بالطول الموجي المناسب (الأزرق في هذه الحالة) ...تصدر ضوء فلورة بطول موجي آخر (الأخضر في هذه الحالة). لا تختار المرآة الثنائية اللونية والمرشح الثاني إلا ضوء الفلورة الذي تصدره العينة. وبالتالي لا يكشف المجهر إلا صورة الجزء المتفلور من العينة. تسمح المجاهر المتفلورة بالكشف عن وجود وتوضع كمية صغيرة جداً من الجزيئات في العينات البيولوجية. المجهر المتحد البؤرة نوع خاص من مجاهر الفلورة. تتوضع فيه فتحتان ثقبيتان pinhole aperturesفي موضعين مشتركين في البؤرة.

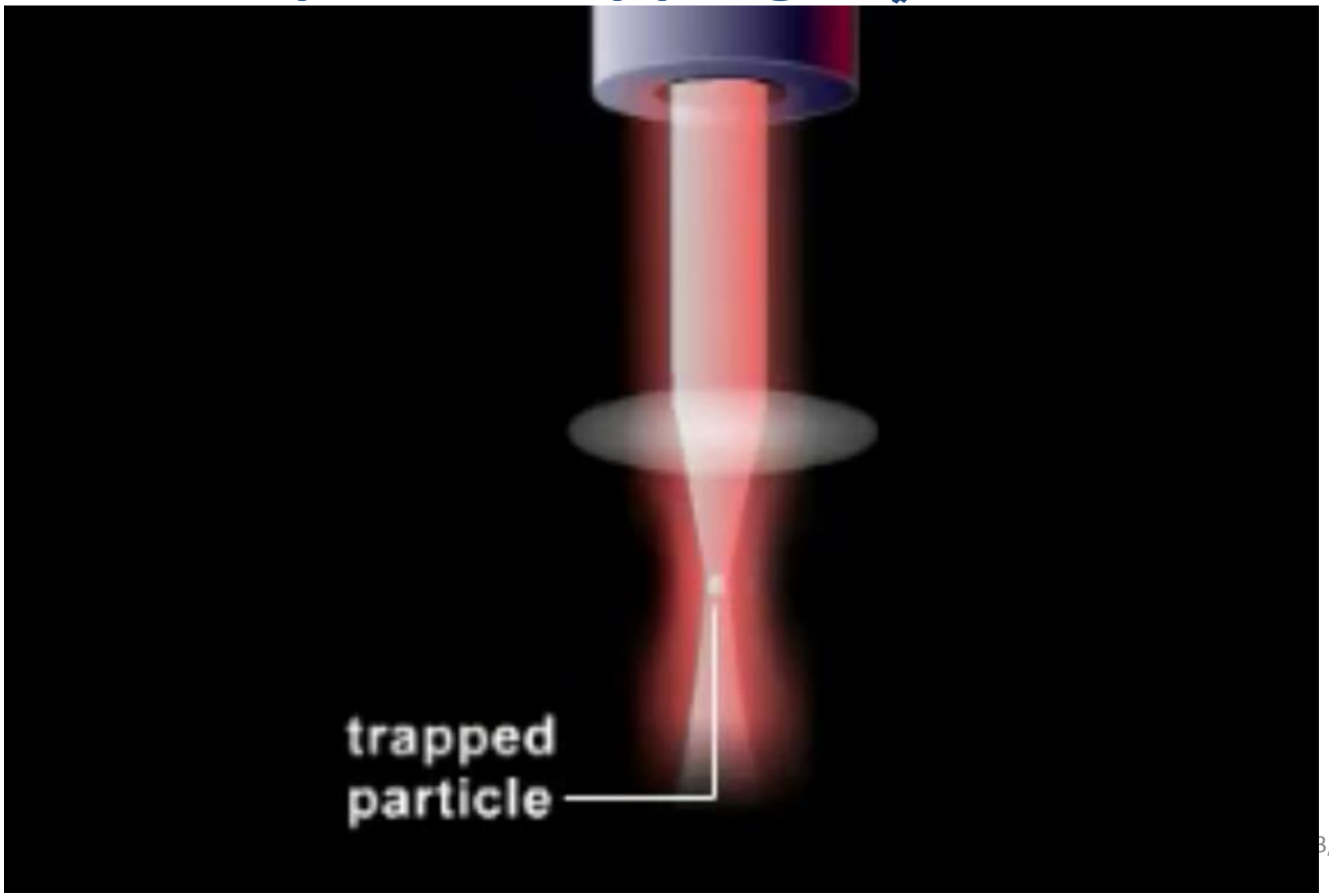
تتقرب الحزمة الضوئية بالثقب الأول على جزء صغير من العينة. تصدر حوامل اللون في حال وجودها الضوء الذي يرشح من قبل المرآة الثنائية اللونية والمرشح. لا ينتقي الثقب الثاني الواقع في المستوي البؤري إلا الضوء القادم من نقطة العينة المستهدفة. وبالتالي لا تجمع الجسمية إلا هذا الضوء. ثم يمسح سطح العينة بتحريك إما العينة أو الحزمة الضوئية. مما يسمح ببناء صورة ثنائية البعد على ارتفاع معين. يمكن الانتقال شاقولياً للحصول على صور على ارتفاعات مختلفة. يمكن بناء صورة حجمية للعينة باستخدام برمجيات مناسبة. تسمح المجاهر المتحدة البؤرة بالكشف عن جزيئات متفلورة في ثلاثة أبعاد بمقدرة فاصلة مكانية جيدة.

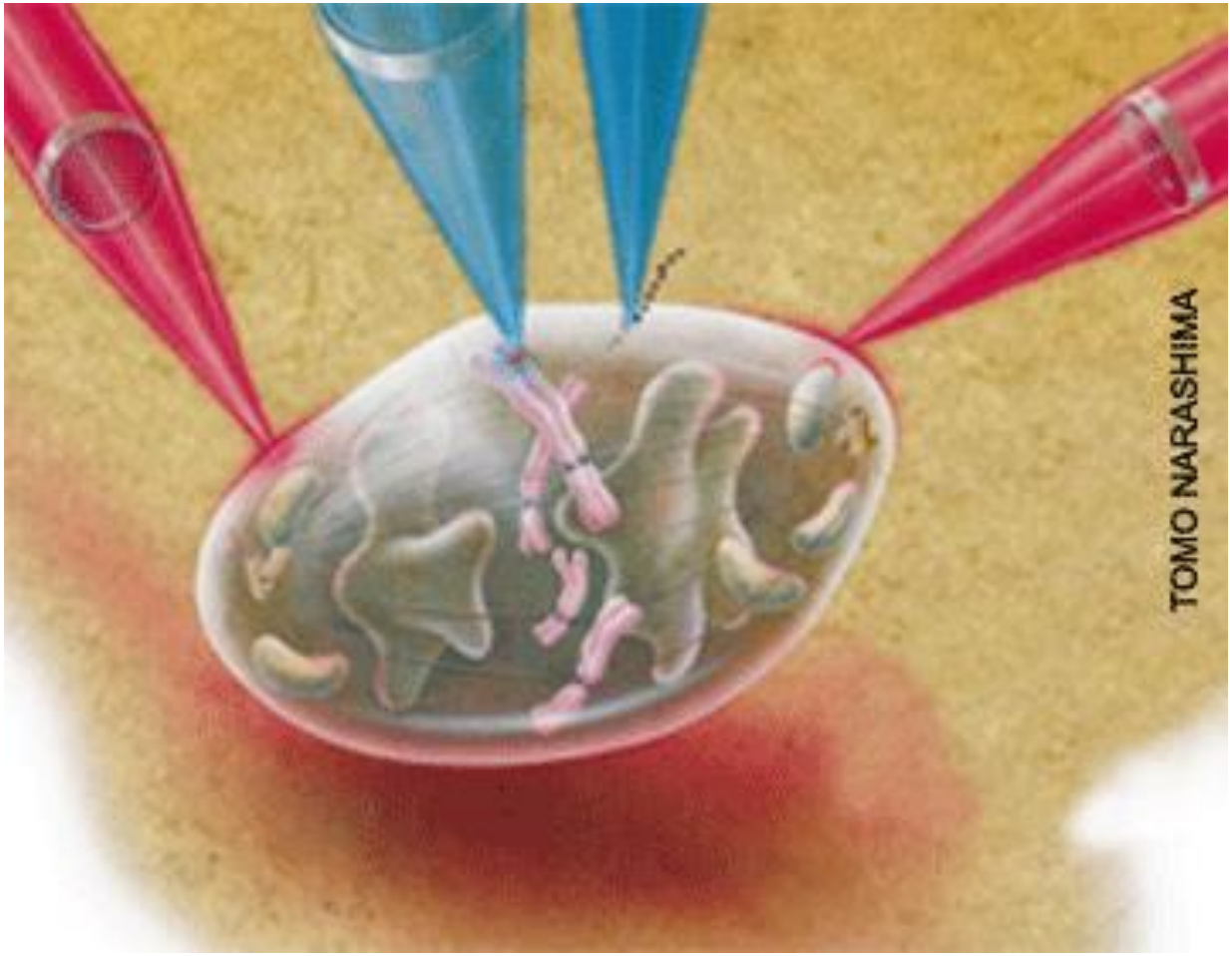


الملقط الضوئي "Optical Tweezers"
الأسر الضوئي "Optical Trapping,"

- يمكن بتقنيات الأسر الضوئي أسر جسيمات صغيرة بضغط الإشعاع في النقطة البؤرية لحزمة ضوئية عالية الشدة.
- كما يمكن استخدام هذه التقنية التي تدعى الأسر الضوئي في تحريك خلايا صغيرة أو عضيات دون خلوية بحسب الرغبة باستخدام حزمة ليزرية موجهة مبأرة.

“Optical Tweezers” الملقط الضوئي
“Optical Trapping,” الأسر الضوئي





- باستخدام الملاقط والمقصات الضوئية أصبح البيولوجيون جرّاحين للخلايا. وقد نجحوا خاصة في تثبيت خلية باستخدام حزمتين تؤديان دور الملاقط (اللون الوردي). يمكن أن تؤدي حزمة أخرى دور المقص (الأزرق الشاحب) في إتلاف الجينات الخاطئة (الأحمر)، في حين تؤدي حزمة ثانية (الأزرق الداكن) دور المقص أيضاً فتحدث فتحة في الغشاء الخلوي ندخل منها الجينات السليمة (القطعة المنقطة). تحضر فيما بعد المستعمرات الخلوية المعدّلة جينياً وتنقل إلى العضوية لأغراض علاجية.

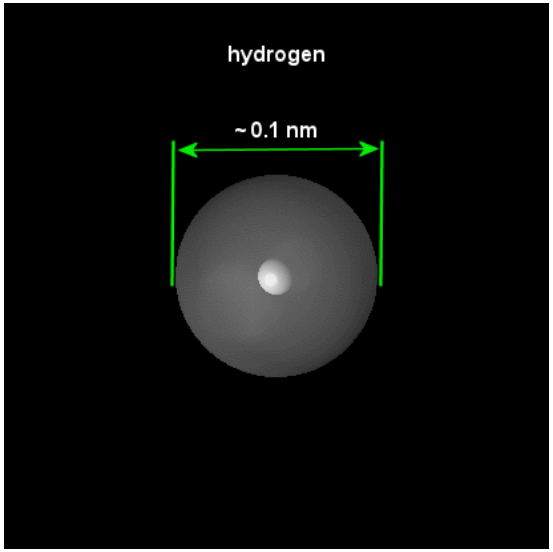
الملقط الضوئي "Optical Tweezers"
الأسر الضوئي "Optical Trapping,"

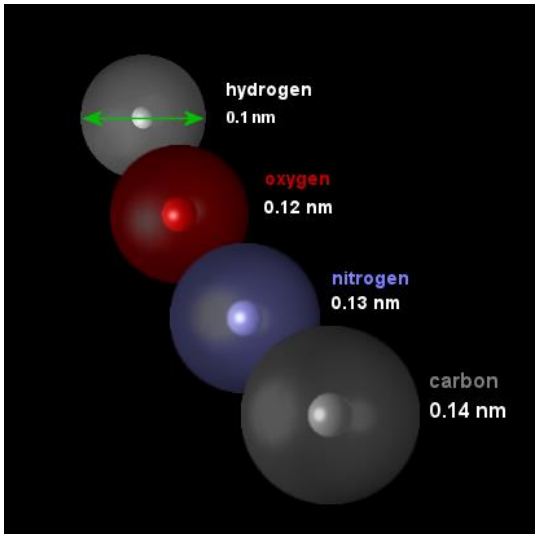
- يمكن مثلاً أسر كرّية، مغطاة بمجس حيوي فعال مقيد، بملقط ضوئي وإدخالها في نسيج أو حتى في خلية وتحريكها في موقع استراتيجي.
- يمكن في هذه الحالة تحرير المجس الفعال حيوياً وتفعيله بالامتصاص المتعدد الفوتونات وفك القيد.

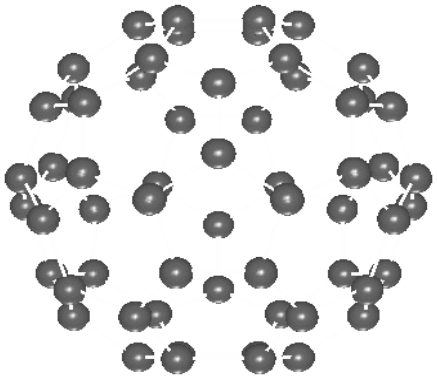
الملقط الضوئي "Optical Tweezers"
الأسر الضوئي "Optical Trapping,"

- هذه التقانات النانوية ليست إلّا بعض الأمثلة عن جيل جديد من الأدوات الفوتونية النانوية التي يمكنها أن تغير جذرياً الفهم الأساسي لتطور الحياة.
- يمكن أن تؤدي هذه التقانات أخيراً إلى ابتكار تقنيات جديدة للتشخيص المبكر والمعالجة الطبية والوقاية فيما دون المستوى الخلوي إلى مستوى العضيَّات الفردية حتى الدنا DNAحجر أساس الحياة.

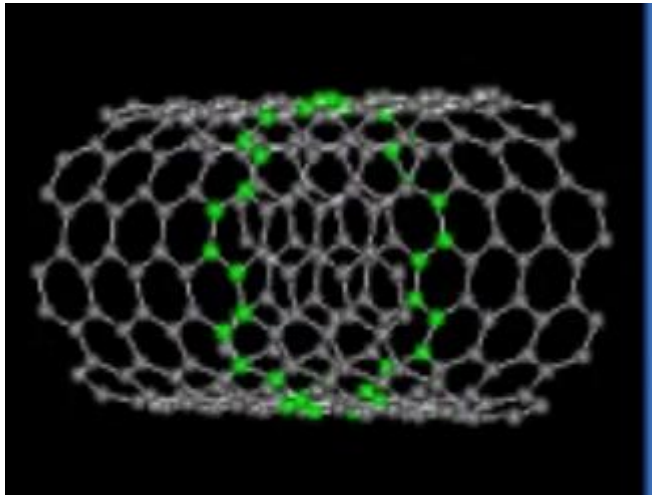
العالم النانوي







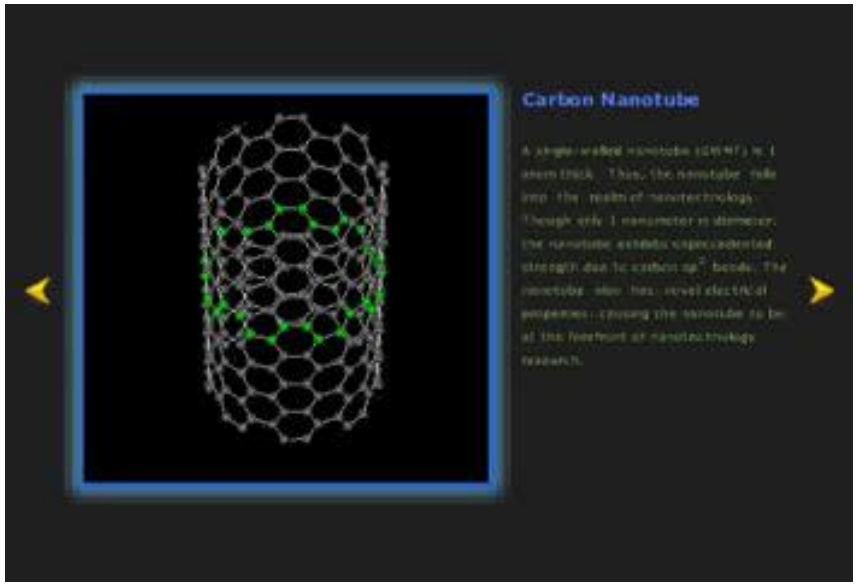
كرّية الكربون C_{60} قطرها 1nm.

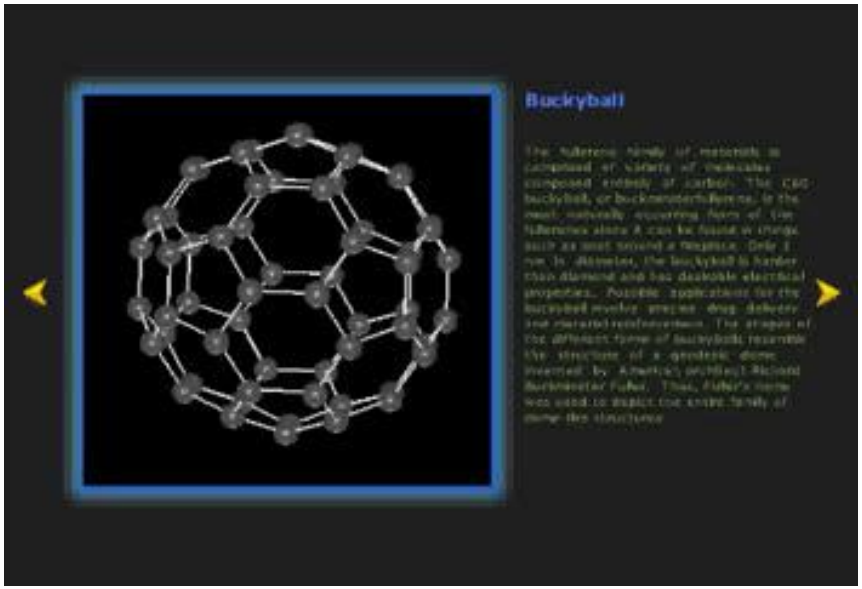


أنبوب كربون نانوي أحادي الجدران قطره 1.3nm.

- يتم استعراض أبعاد المكونات النانوية من الأسفل إلى الأعلى (أي من المكونات ذات الأبعاد الأصغر إلى المكونات ذات الأبعاد الأكبر) مع التأكيد على المكونات التي ظهرت مع ظهور العالم النانوي، مثل كرية الكربون المكونة من 60 ذرة كربون وأنبوب الكربون النانوي الأحادي الجدار لتمييزه عن أنبوب الكربون المضاعف الجدار وأهميتهما في التطبيقات النانوية،

أنبوب الكربون النانوي كرية الكربون

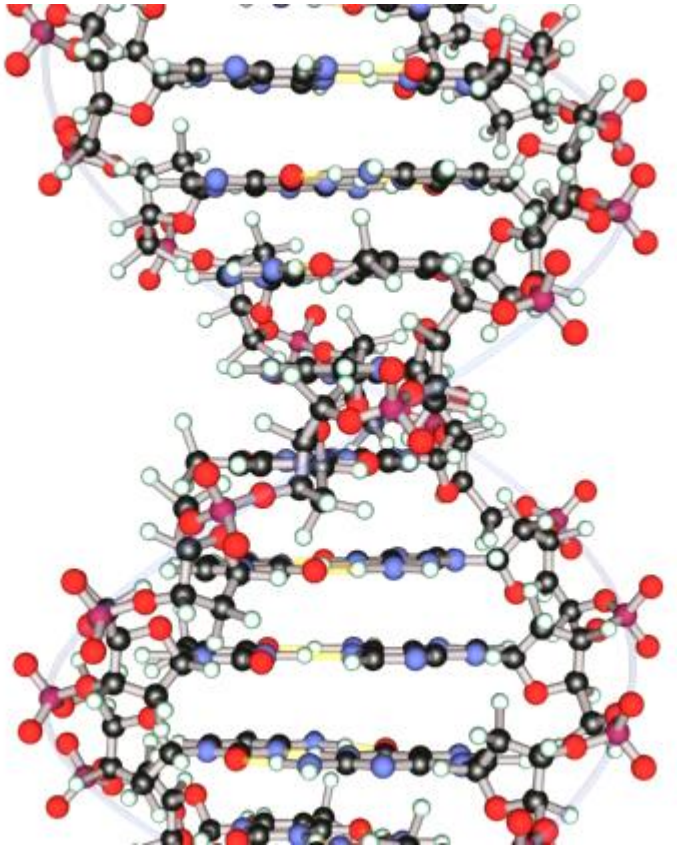




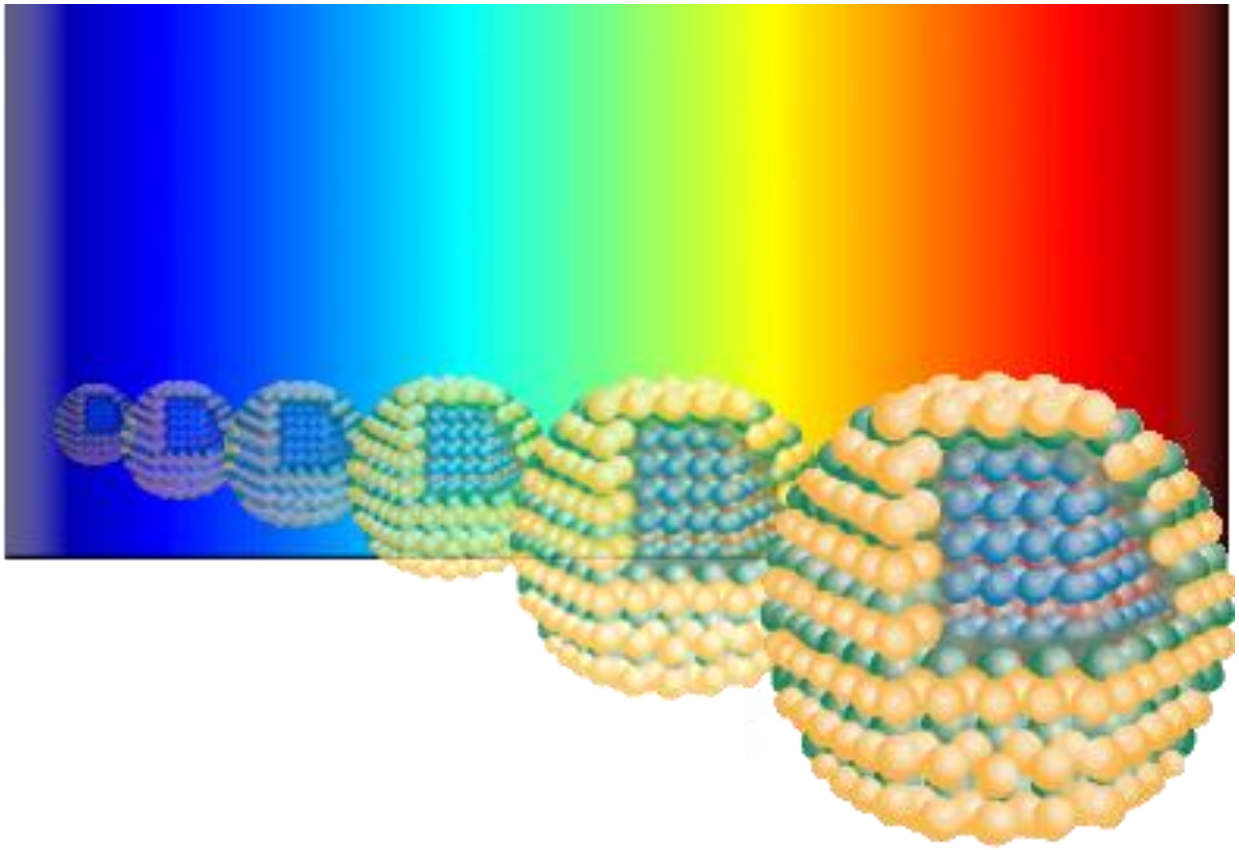
أنبوب كربون نانوي أحادي الجدران قطره 1.3nm.

كرّية الكربون C_{60} قطرها 1nm.

الـ DNA عرض طاق واحد فيه 2nm



النقاط الكمومية

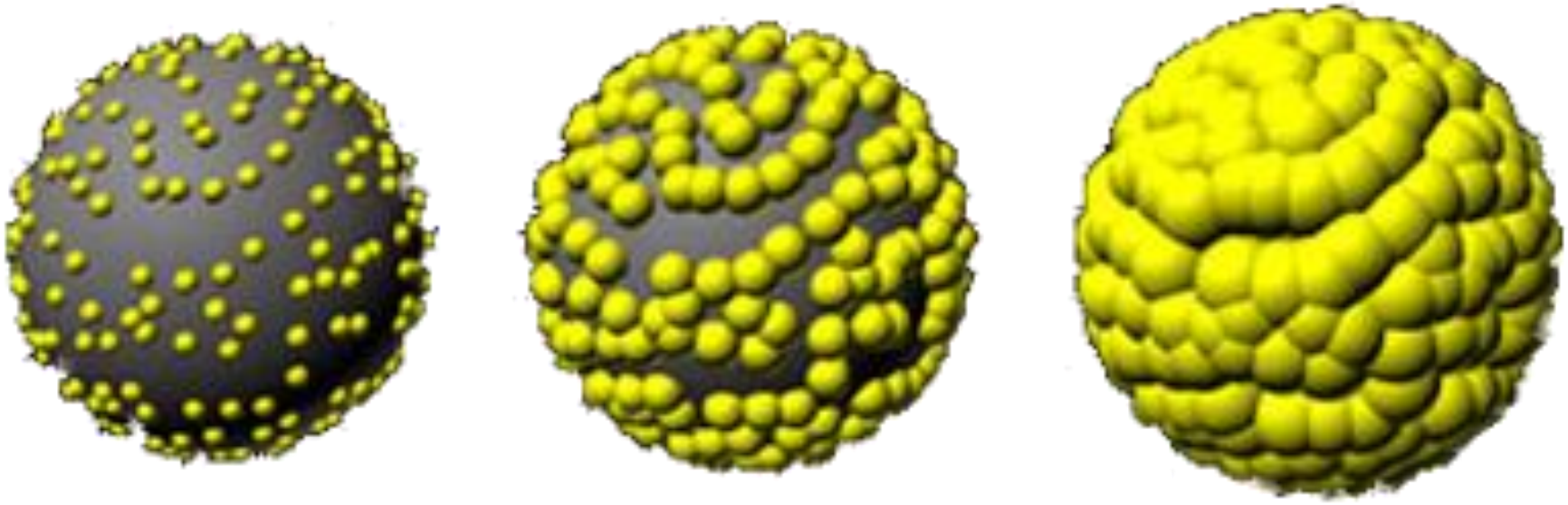


جسيمات نقاط كمومية تصدر ضوءاً لدى إنارتها بمنبع طاقي. يتعلق طول موجة الضوء الذي تصدره نقطة كمومية بأبعادها. يقدر القطر النموذجي للنقاط الكمومية المصدرة للضوء بنحو 5nm.

1- ثم النقاط الكمومية وهي جسيمات صغيرة نصف ناقلة (أنصاف النواقل مواد تحضر منها الثنائيات والترانزستورات التي درست في المرحلة الثانوية) تتراوح أبعادها بين 2nm و 5nm. تتصف هذه النقاط بالتألق لدى إضاءتها بضوء ليزر ، ولكنها تختلف في الطول الموجي الذي تصدره تبعاً لأبعادها. فالنقاط الكمومية الأكبر تصدر الطول الموجي الأطول 5nm (مع الإشارة إلى اللون الأحمر على خلفية النقطة الكبيرة على الشكل) والنقاط الكمومية الأصغر تصدر الطول الموجي الأقصر (مع الإشارة إلى اللون البنفسجي على خلفية الكرية الصغيرة) . يمكن تفسير هذه الظاهرة الكمومية أنه بقدر ما يكون الحيز الذي تتجول فيه الإلكترونات صغيراً يكون الطول الموجي الصادر قصيراً.

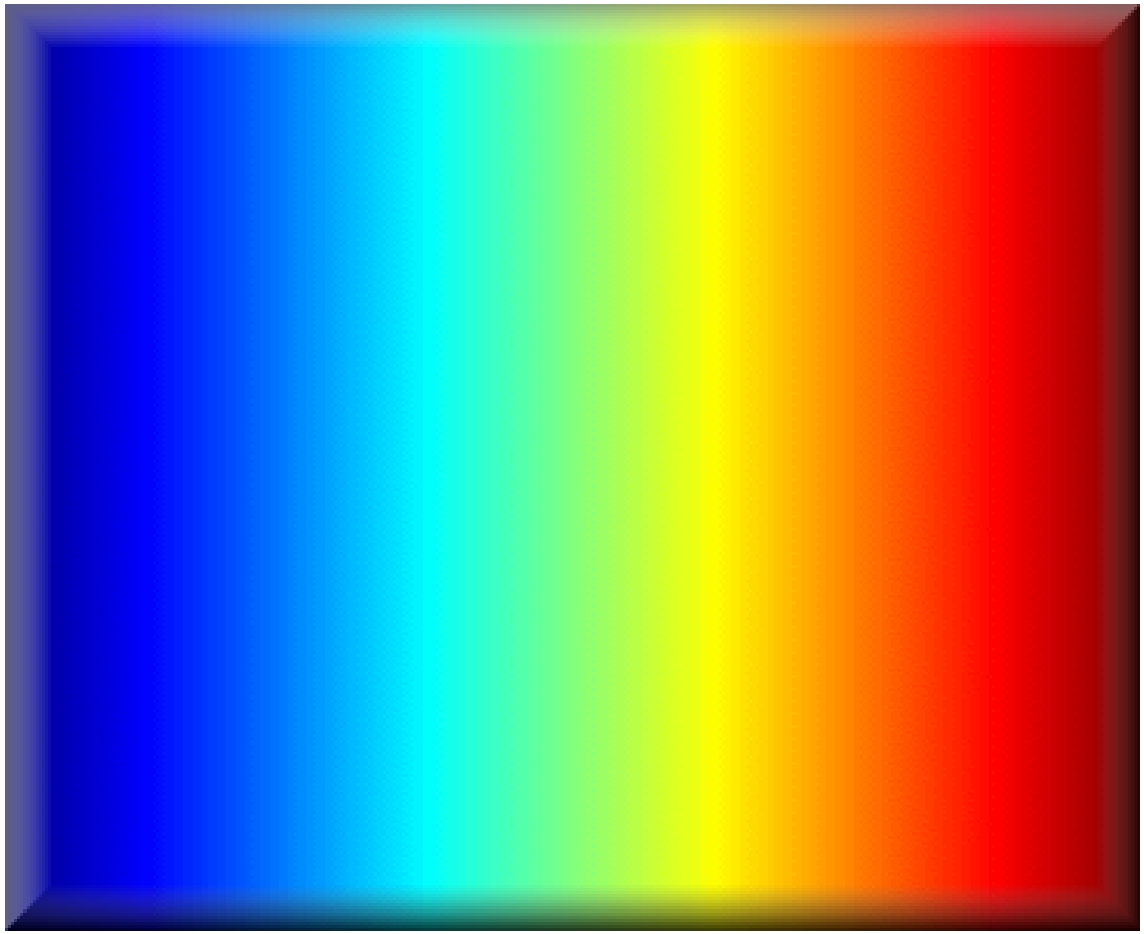
2- الإشارة إلى أهمية هذه الظاهرة الكمومية في التحليل الجرثومي.

دور الكريات النانوية في المعالجة



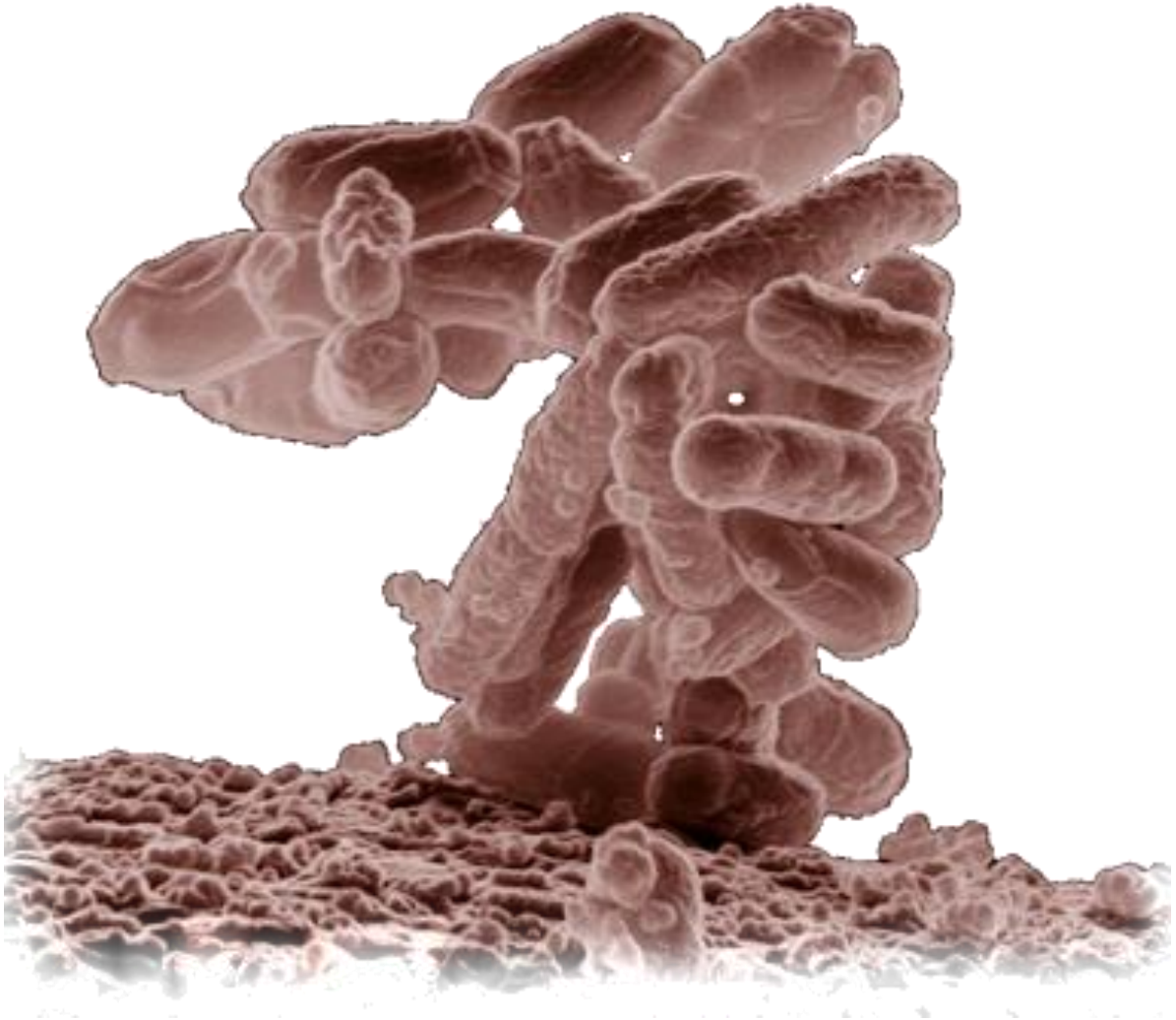
كريّة من السيليس مغلفة بغشاء من الذهب قطرها 100nm، يمكن إذا تعرضت لطول موجة ليزرية مناسب أن يتولد على سطحها أمواج بلازمونية (أمواج كثافة إلكترونية) ترفع درجة حرارته إلى 45°C.

- 1- السيليس هو ثاني أكسيد السلكون وينتمي إلى المواد السراميكية
- 2- الإشارة للطلاب بأنه يمكن استخدام هذه النقاط الكمومية التي تقدرها أبعادها بنحو 100nm وبالاستعانة بليزر طوله الموجي مناسب في معالجة الأورام (الفصل التالي). وهي إحدى طرائق معالجة الأورام المأمونة

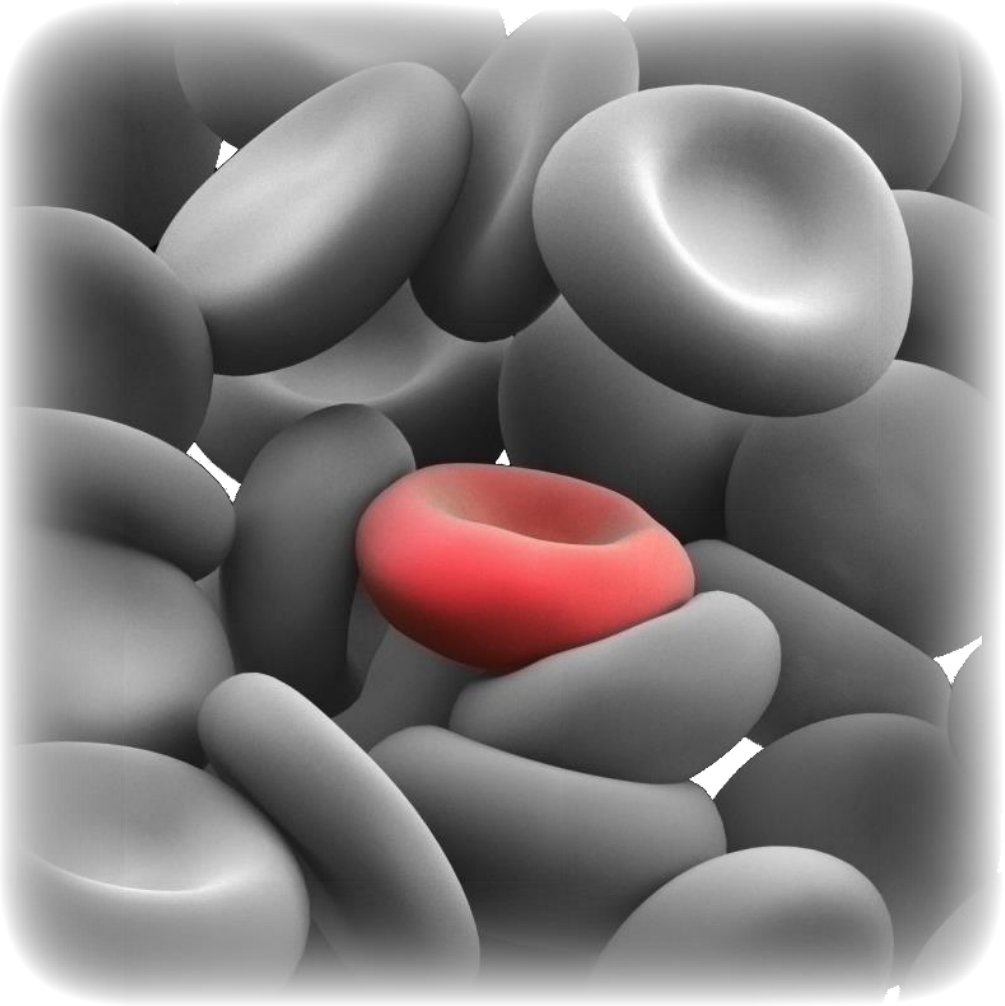


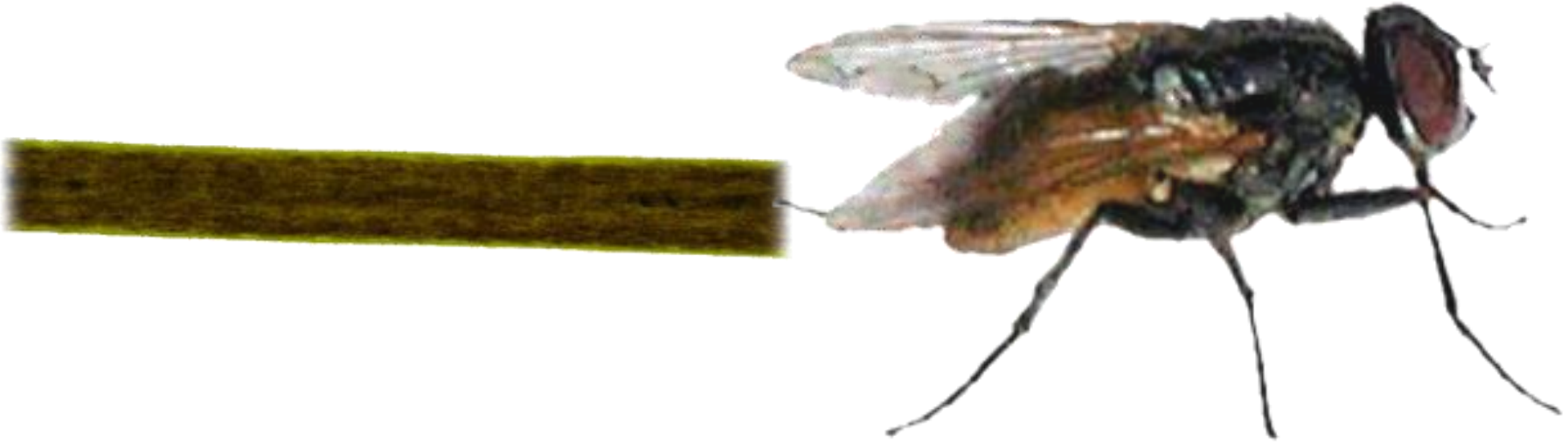
المجال المرئي من طيف الإشعاعات الكهرطيسية، يتضمن الأطوال الموجية الواقعة بين الأزرق 400nm والأحمر 700nm.

يبلغ طول بكتريا العصية الإيشريشية 2µm. يظهر في الشكل عنقود منها مكبرة 10,000 مرة .



يبلغ القطر الوسطي لخلية الدم الحمراء بين 6µmو 8µm.

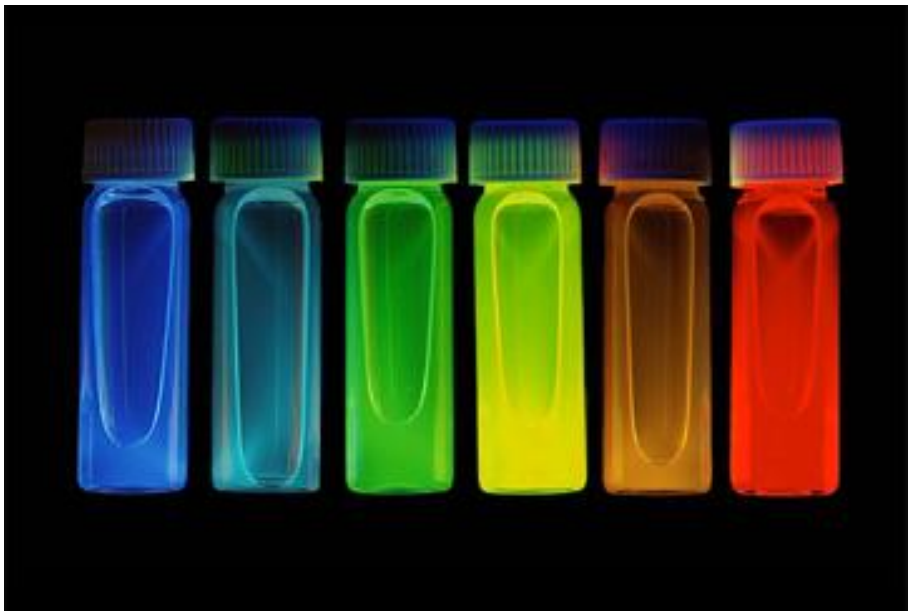




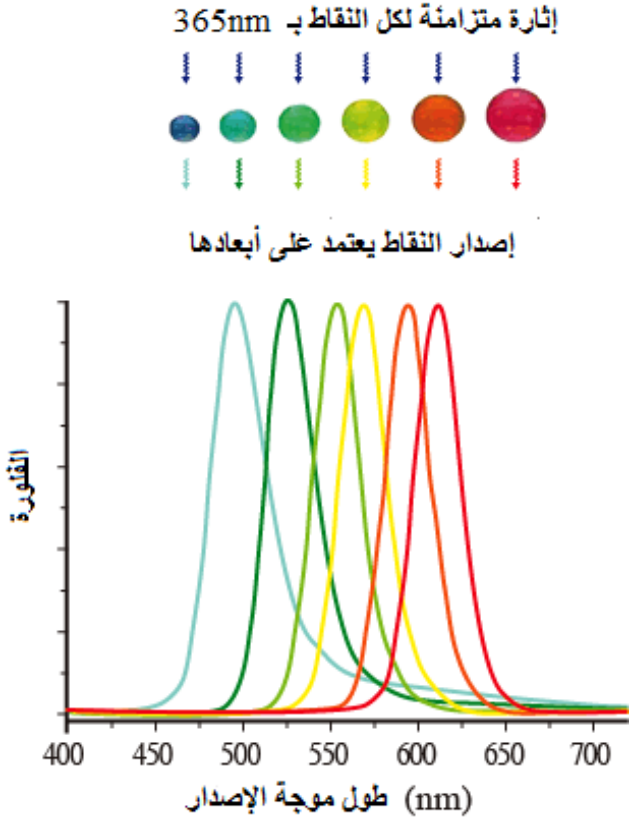
الطول المتوسط لذبابة منزلية 1cm.

عرض شعرة الإنسان 75µm

النقاط الكمومية والفلورة



الفلورة الصادرة من النقاط الكمومية



تعتمد أطياف الفلورة التي تصدرها النقاط الكمومية لدى إنارتها بمنبع طاقي على أبعادها. يتعلق طول موجة الضوء الذي تصدره نقطة كمومية بأبعادها. يقدر القطر النموذجي للنقاط الكمومي المصدرة للضوء بنحو 5nm.

1- التأكيد على الظاهرة الكمومية التي تبديها النقاط الكمومية وبيان أنه لدى حل نقاط كمومية من المادة نفسها ومختلفة بأبعادها في الماء وفي زجاجات مختلفة وإضاءتها بالليزر تظهر الزجاجة التي تحوي النقاط الكمومية الأكبر حمراء و الزجاجة التي تحوي النقاط الكمومية الأصغر بنفسجية.. والخط البياني يوضح طيف كل نقطة من النقاط الكمومية

2- يمكن بإثارة النقاط الكمومية التي تقدر أقطارها من 2nm إلى 5nm بالطول الموجي365nm أن تصدر الفلورة الزرقاء عن النقاط 2nm، والخضراء عن 3nm~ والصفراء عن 4nm~ والحمراء عن النقاط الأكبر 5nm~. فإذا ما وضِّعت أضداد لجراثيم معينة على هذه النقاط، بحيث يوضَّع ضدٌّ لجرثوم معين على نقاط بقطر معين فإنه يمكن باستخدام مجموعة من هذه النقاط الموسومة بالأضداد الكشف عن وجود جرثوم معين في عينة لدى إضاءتها بليزر الإثارة، إذْ لن يتفلور من النقاط الكمومية إلّا تلك التي وجدت المستضد الذي تحمل أضداده

الفسفرة Phosphorescence

- **الفسفرة** نوع خاص من التألق الضوئي يرتبط بالفلورة.
- لكن المادة التي تبدي الفسفرة، خلافاً للفلورة، تعيد إصدار الإشعاع الممتص بشدة أضعف لمدة تصل حتى عدة ساعات بعد الإثارة.
- من الأمثلة على المواد المتفسفرة التي تشيع رؤيتها الألعاب التي تتألق في الظلام، والطلاءات، وعقارب الساعة التي تتألق لبعض الوقت بعد إثارتها، بضوء أبيض، كضوء القراءة أو ضوء الغرفة العادي. يتضاءل التألق عادة تدريجياً خلال دقائق (أو يمكن أن يصل إلى بضع ساعات) في غرفة مظلمة.

الفصل الحادي عشر

تطبيقات الليزر

الامتصاص وآليات تفاعل الإشعاع مع النسج

Laser Applications

أنواع تفاعلات الليزر مع المادة الحية

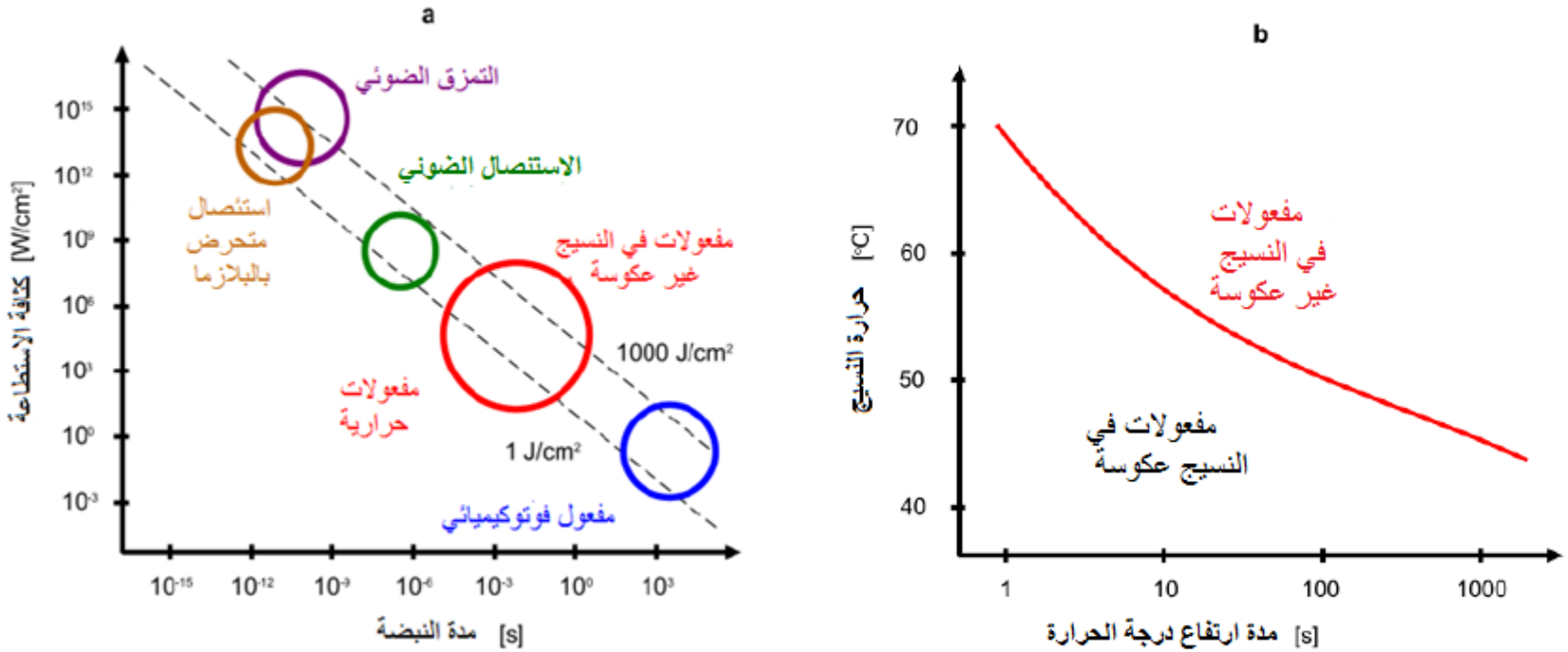
- التآثرات الفوتوكيميائية photochemical interactions
- والتآثرات الحرارية thermal interactions
- والاستئصال الضوئي photoablation
- والاستئصال المتحرض بالبلازما plasma-induced ablation
- والتمزق الضوئي photodisruption.

- 1- نقوم في هذه الفقرة بتوصيف كل من هذه الآليات بإيجاز ومراجعة المبادئ الفيزيائية التي تتحكم بهذه التآثرات. وقد أُكِّدَت الآليات المجهرية التي تتحكم بمختلف عمليات تحويل طاقة الليزر لتنفيذ الغرض المطلوب.
- 2- الإشارة إلى أن هذه التفاعلات تحتاج إلى زيادة كثافة الاستطاعة التي يتعرض لها النسيج وإلى تقصير مدة التعرض

كثافة الطاقة وكثافة الاستطاعة

- تشترك هذه التآثرات فيما بينها بوقوع :
- مجال كثافة الطاقة المميز بين $1\ J/cm^2$ إلى $1000\ J/cm^2$،
- يمتد مجال كثافة الاستطاعة على أكثر من 15مرتبة!
- ومِنْ ثَمَّ فإن مدة التعرّض هي التي تميز هذه العمليات وتتحكم فيها بشكل رئيسي.

كثافة الطاقة وكثافة الاستطاعة



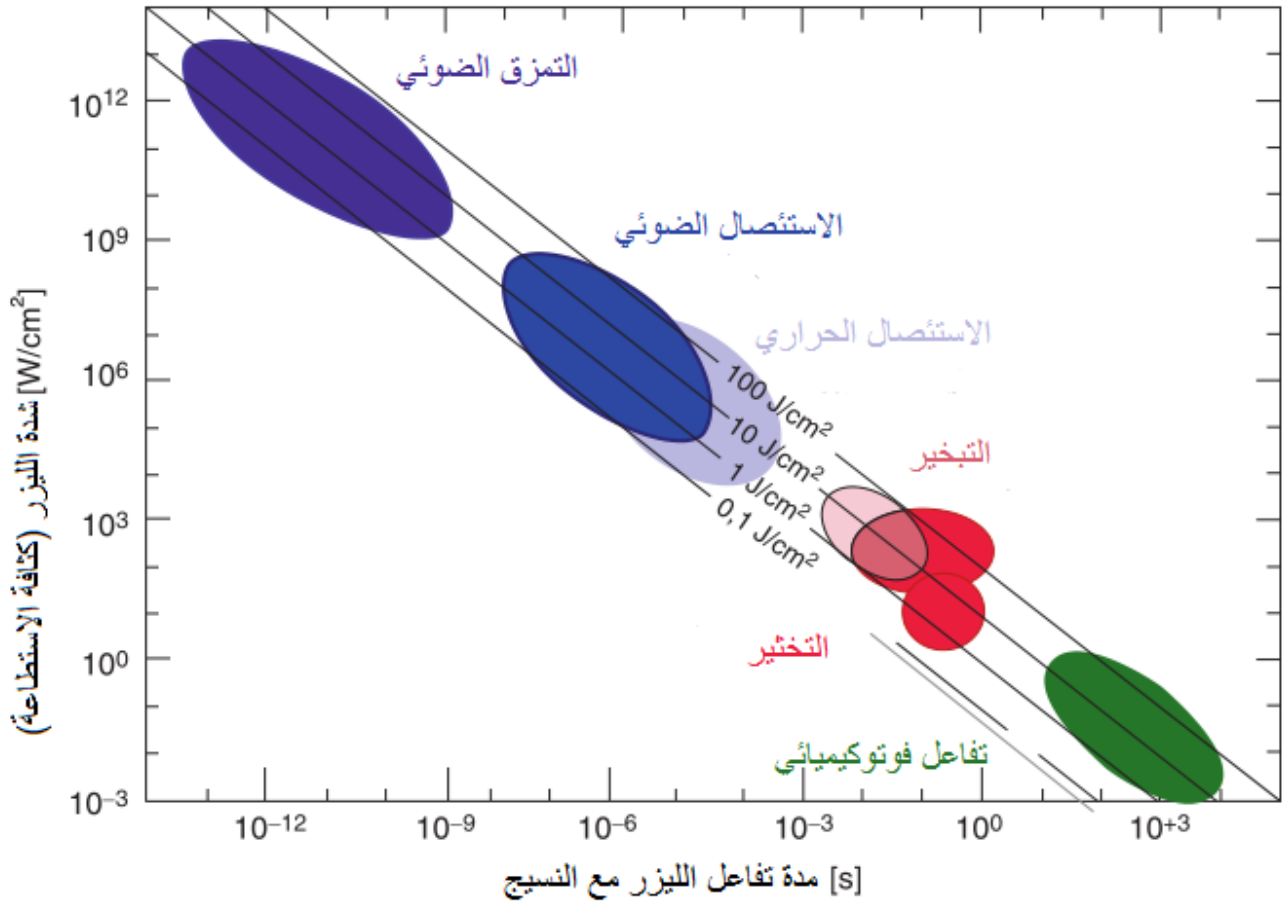
خارطة لتآثرات الليزر- نسيج (a) تمثل الدوائر مجالات خمس آليات تقريباً لتآثر الليزر مع النسيج. إن البرامتر الرئيسي الذي يتحكم بآلية التآثر هو مدة النبضة (التي ترتبط بكثافة الاستطاعة)، في حين أن الطاقة الكلية المتوضعة تكون أقل أهمية وتقع عادة بين 1J و1000J. (b)منحني المفعولات الحرارية غير العكوسة، إذْ تكون مدة استمرار درجة الحرارة المرتفعة مهمة أيضاً. يقدر الخط الأحمر على أنه درجة الحرارة الحرجة الفاصلة.

لكي يستوعب الطالب التقسيمات المستخدمة على المحورين الأفقي والشاقولي ينصح بمراجعة فقرة المستوى الصوتي في الفصل الخامس عشر التي تستخدم الوحدات اللغارتمية للتعبير عن مجالات التغيرات الواسعة : كمجالات الشدات المسموعة التي تمتد على 13رتبة وشدات الليزر التي تمتد على 17 مرتبة ومجال مدد توضيع الطاقة في المعالجة بالليزر الذي يمتد على أكثر من 16 مرتبة

2-تظهر في الشكل خارطة مضاعفة اللغارتمية تتضمن أنواع التآثرات الأساسية الخمسة، على النحو الذي وجدت فيه في تجارب متعددة. يعبر محور التراتيب عن كثافة استطاعة الليزر المطبقة irradiance مقدرةً بـ W/cm^2. في حين يمثل محور الفواصل مدة التعرض بالثواني. يدل القطران المتوازيان في الشكل على كثافات ثابتة للطاقة المتوضعة عند $1\ J/cm^2$ و $1000\ J/cm^2$ على الترتيب. يمكن لمقياس الزمن وفقاً لهذه الخارطة، أن يقسم تقريباً إلى خمسة أجزاء:

الموجة المستمرة أو زمن التعرض أكبر من الثانية في حالة التآثرات الفوتوكيميائية، ومن دقيقة إلى مكروثانية للتفاعلات الحرارية، ومن المكروثانية إلى النانوثانية في حالة الاستئصال الضوئي، وأصغر من النانوثانية في حالة الاستئصال المتحرض بالبلازما والتمزق الضوئي. يعزى الاختلاف بين هذين الأخيرين إلى الاختلاف بين كثافتيهما الطاقيتين. إذ يعتمد أحدهما كلياً على التأيين بينما الآخر أثر مرافق، ولكنه مفعول ميكانيكي بشكل رئيسي. فالبلازما هي وسط فيه كثافة الإيونات الموجبة والسالبة (الإلكترونات مثلاً) أكبر من كثافة الإيونات المعتدلة.

كثافة الطاقة وكثافة الاستطاعة

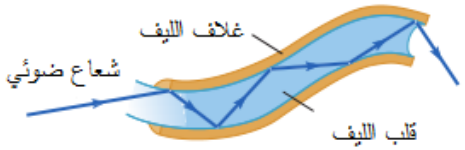


تعتمد الطاقة المتوضعة في الخلايا (الجرعة الطاقية) التي تقاس بالجول على السنتمتر المربع (J/cm2)، على استطاعة الليزر نفسها ومدة تعرض الخلية للضوء. (تمثل الخطوط القطرية المتوازية جرعات الطاقة المختلفة). وقد ألقينا الضوء على بعض المفعولات التي يمكن حدوثها باجتماعات مختلفة للاستطاعة وزمن التعرض. يشيع بعض التسخين على الأقل في مجال واسع من الطاقات (الأحمر). أما الأحمر الداكن فحيث تكون الحرارة هي الآلية السائدة.

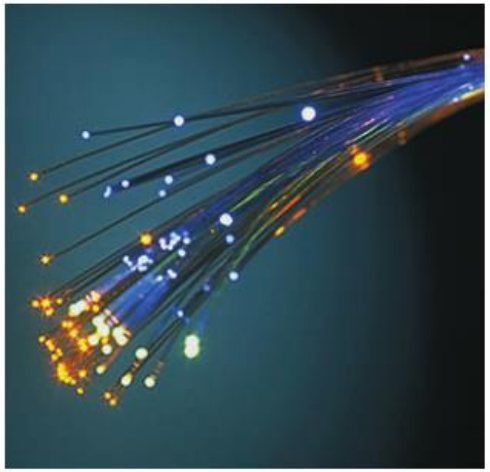
1- يظهر الشكل 11.2أن كثافة الطاقة الكلية المتعلقة بتطبيقات الليزر الطبية تمتد من نحو 1 J/cm^2 إلى 1000 J/cm^2. تدل العلاقة العكسية بين كثافة الاستطاعة ومدة التعرض بوضوح على أن كل أنواع التآثرات التي يطلب إجراؤها تتطلب كثافة الطاقة نفسها تقريباً. ومِنْ ثَمَّ تبدو مدة التعرض البرامتر الرئيسي المسؤول عن أنواع آليات التآثر.

2- لا يمكن دائماً الفصل بدقة بين أنواع التآثر المتجاورة. إذ يمكن للمفعولات الحرارية أن تؤدي دوراً مهماً في أثناء التآثر الفوتوكيميائي. حتى إن النبضات الليزرية الفائقة القصر التي تكون مددها أقصر من 100 ps– التي ليس لأي منها مفعول حراري محسوس– يمكن، إذا تم تطبيقها بمعدلات تكرار أعلى من نحو 10 إلى 20 Hz تبعاً لليزر، أن تترافق بارتفاع في درجة الحرارة يمكن قياسه. يكشف هذان المثالان حاجتنا لمعرفة أفضل لكل تآثر بين الليزر والنسيج. تصبح هذه المهمة أكثر صعوبة بفعل لا تجانسية معظم النسج والتي لا يمكن تغييرها. غير أَنه يصبح ممكناً الوصول إلى الفيزياء الأساسية التي تتدخل في كل تآثر لدى جمع قدر كاف من البيانات لتنسجم مع البرامترات غير المعروفة

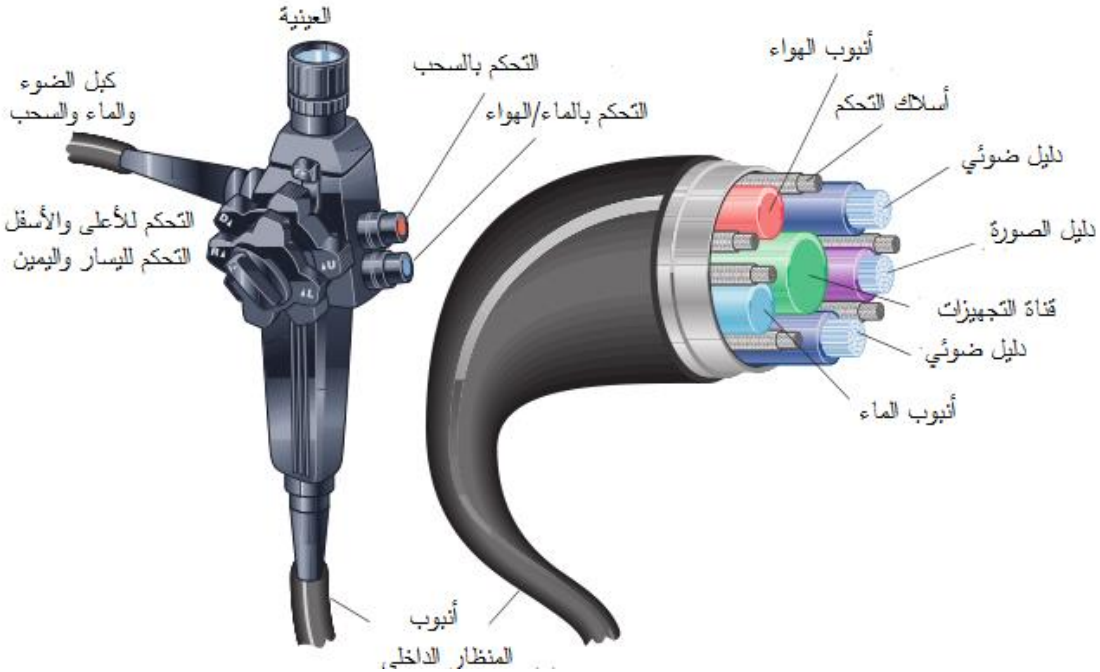
الألياف الضوئية في الكشف والمعالجة



(a)



(b)



(b)