كلية الفنون التطبيقية
جامعة بنها

مادة: حفظ الأثار وصيانتها

الفرقة الثالثة

قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم

تطبيقات الليـــزر في مجال حفظ الأثار وصيانتها
(الجزء الأول)

Laser applications in restoration of antiquities

" Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

إعداد

د/ وائل أبو الغيط

٢٠٢٠م

مقدمة

- تقوم أجهزة الليزر بتوليد إشعاعات أي موجات كهرومغناطيسية من خلال الاستفادة بفروق مستويات الطاقة المتعددة التي يمكن أن تتخذها ذرات المواد المختلفة وتعد كلمة ليزر LASER اختصار جملة " تكبير الضوء عن طريق الإطلاق الحفزي للإشعاعات" Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation إذ أنها مكونة الحروف الأولي المقابلة لهذه الكلمات باللغة الإنجليزية وقد أكتشف ألبرت أينشتاين عملية الإطلاق الحفزي من الناحية النظرية عام ١٩١٧.
- الليزر إذا هو عملية إطلاق حفزي يعتمد على بعض الخصائص المشتركة للإشعاعات الناتجة وقد أصبح من الميسور نتيجة اختراع الليزر في أواخر الخمسينات توليد وتكبير موجات ذات طول موجي معين يقع في موجات الميكروويف وباختراع الليزر البصري في بداية الستينات أمكن توسيع مدى الموجات المنتجة.

عمليات التنظيف تعتبر أمرا ضروريا للأسباب الآتية :

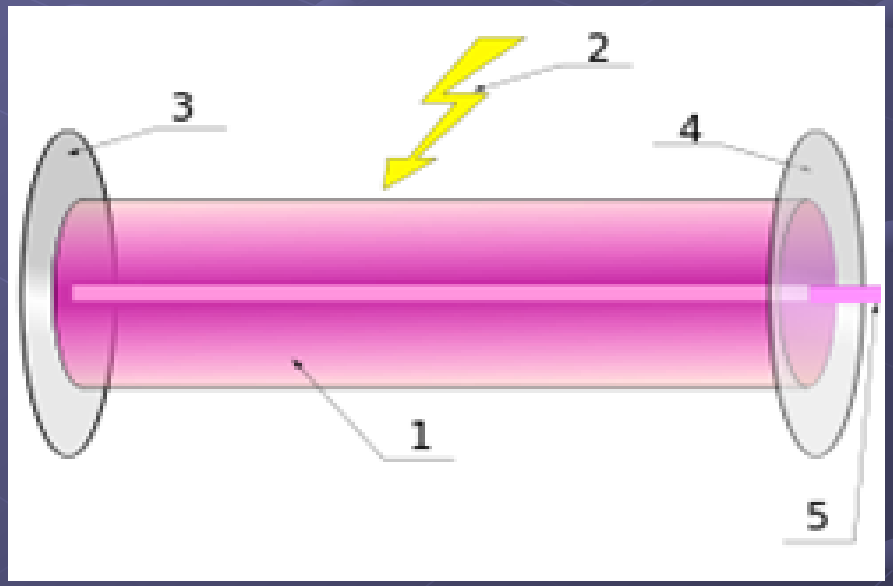
١. أن الاتساخات الموجودة على سطح الاثر تعطي مظهرا غير مقبول.
٢. أن هذه الاتساخات تؤدي إلى طمس معالم القطعة.
٣. هذه الاتساخات تزيد من حامضية الاثر وخاصا المنسوجات.
٤. هذه الاتساخات تقلل من مرونة المنسوجات مما يؤدي إلى هشاشتها.
٥. الاتساخات تشجع على نمو الحشرات والكائنات الحية الدقيقة.

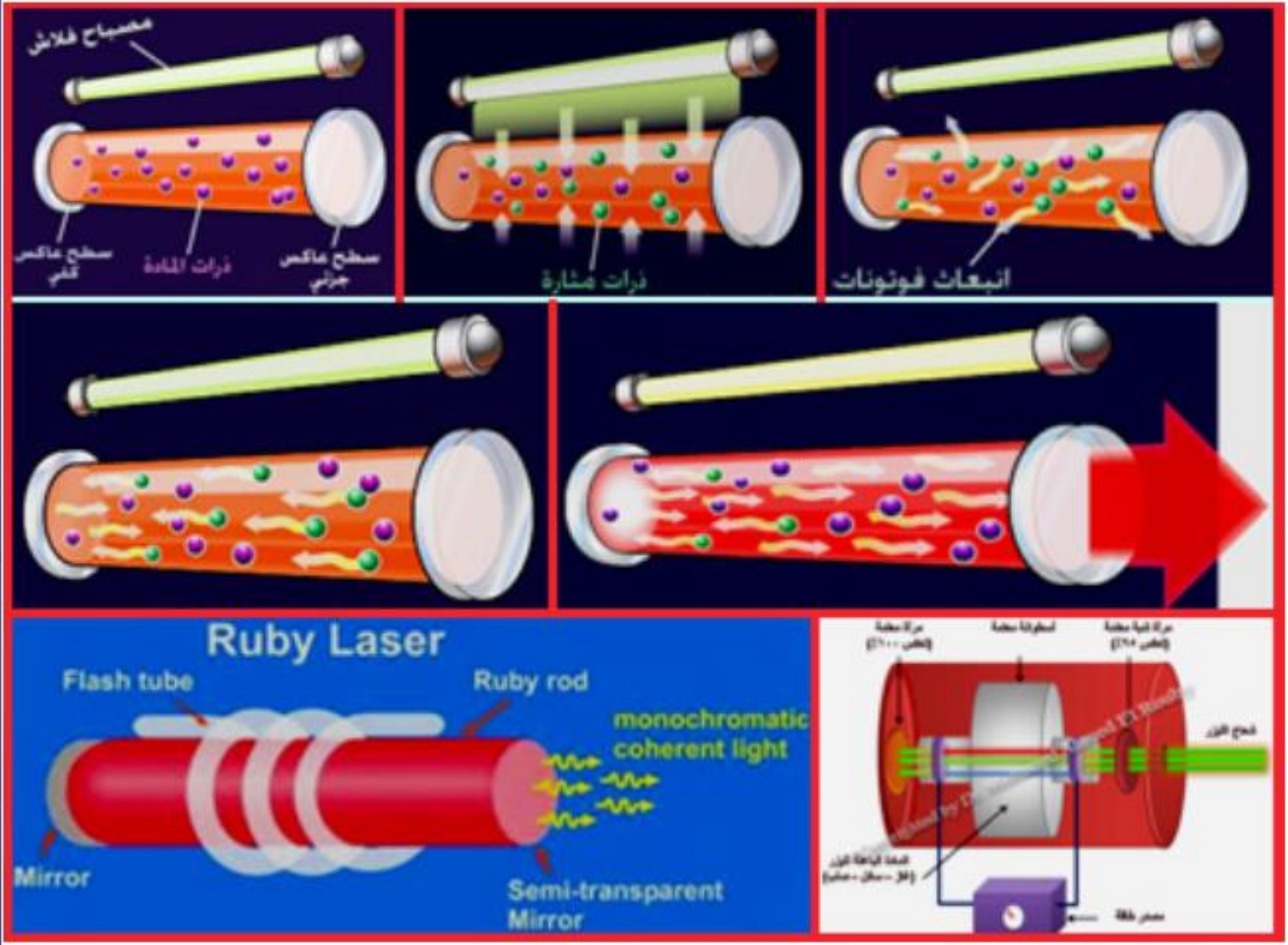
ويتوقف نجاح اختيار الطريقة الملائمة لعملية التنظيف على الآتي

١. التركيب الكيميائي المكون للقطعة المراد تنظيفها.
٢. الخواص الفيزيائية للألياف والخيوط المكونة للقطعة
٣. الترميمات والمعالجات السابقة.
٤. نوعيه الاتساخات والبقع الموجودة.
٥. أهم المنظفات الآمنة التي يمكن استخدامها بدون ضرر.
٦. نوعيه الألوان والاصباغ ومدى تأثرها بمحاليل التنظيف.
٧. مدى تحمل القطعة للتأثيرات الميكانيكية المختلفة.
٨. المدة التي يمكن أن تظل فيها القطعة مغمورة في محاليل التنظيف.

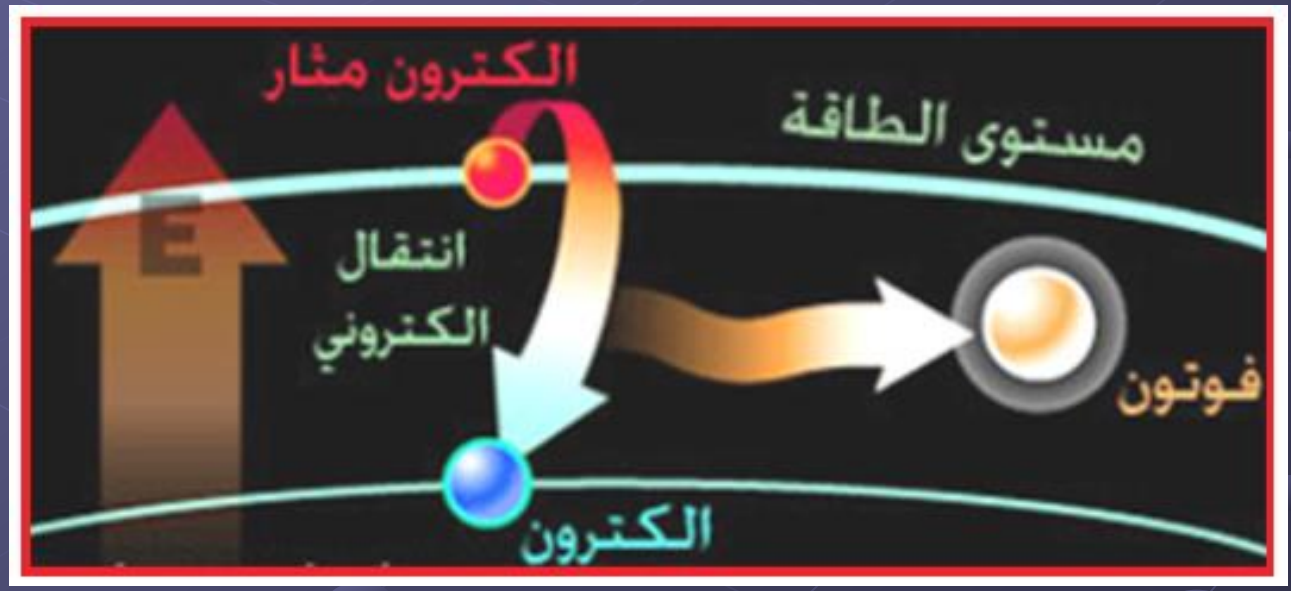
كيف يعمل جهاز الليزر:

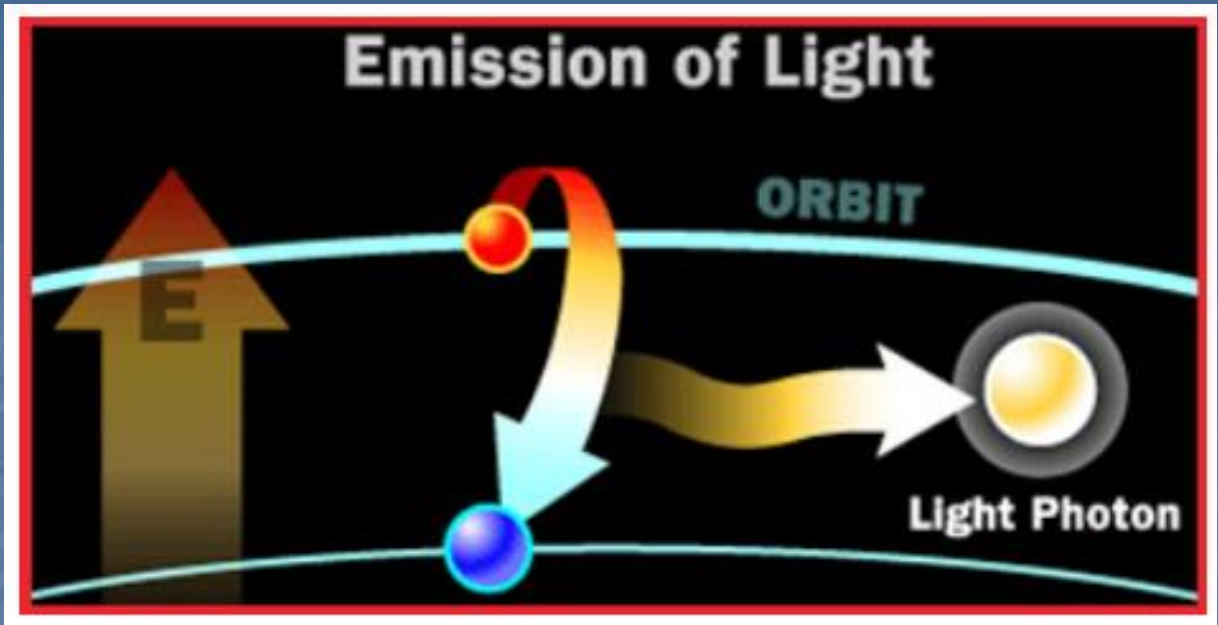
- يوضح الشكل التالي أجزاء جهاز الليزر:
- ١- الوسط أو البلورة المنتجة لأشعة الليزر
- ٢- طاقة كهربائية لتحفيز الوسط على إصدار الموجات الضوئية.
- ٣- عاكس للضوء(مرآة) عال الأداء.
- ٤- عدسة خروج الشعاع وقد تكون مستوية أو عدسة مقعرة.
- ٥- شعاع الليزر الخارج.

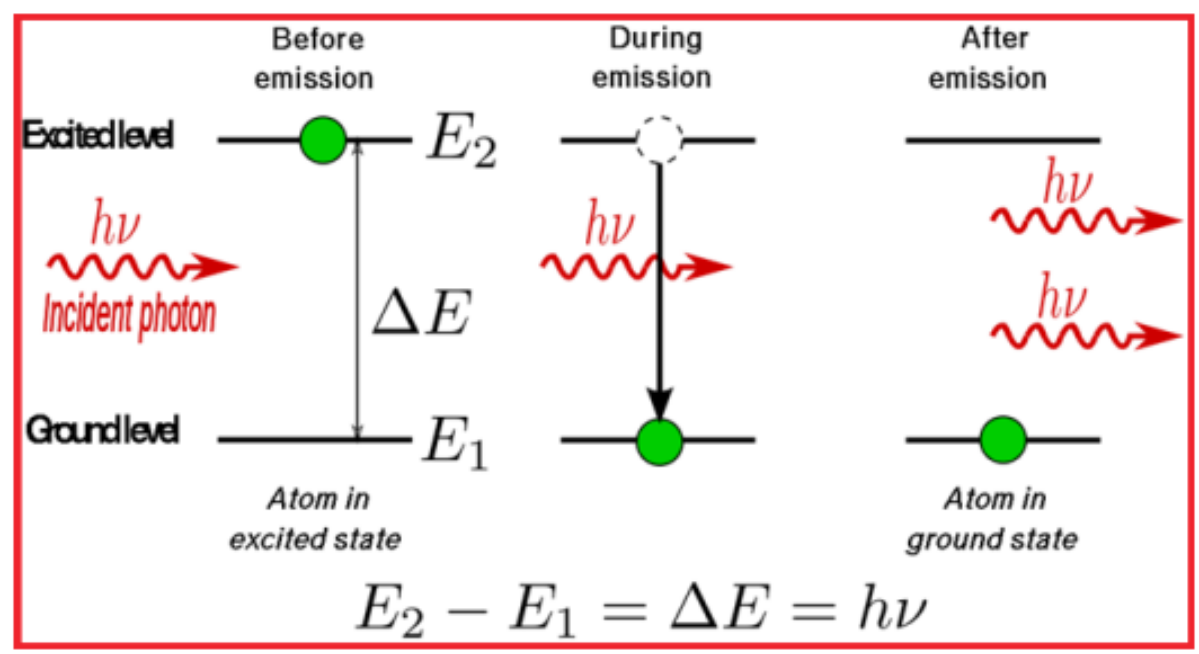


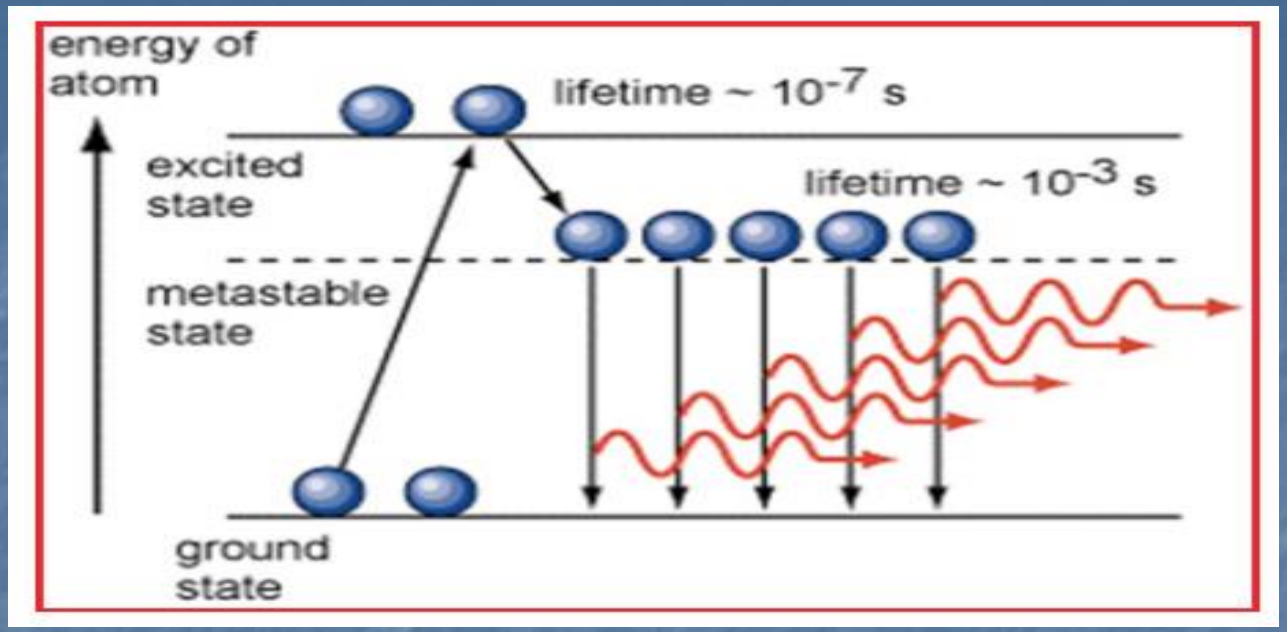

مصباح فلاش
سطح عاكس كلي
ذرات المادة
سطح عاكس جزئي
ذرات مثارة
انبعاث فوتونات
Ruby Laser
Flash tube
Ruby rod
monochromatic coherent light
Mirror
Semi-transparent Mirror

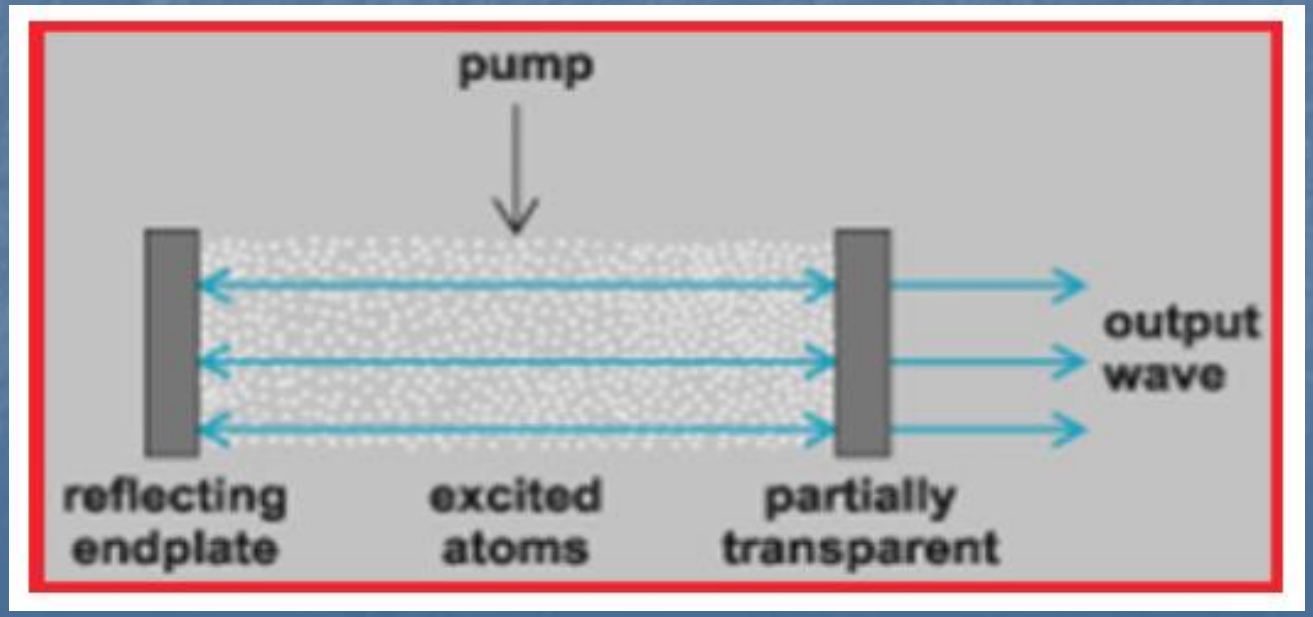
E
طاقة من
مصدر خارجي
انتقال
الكتروني
مستوى الطاقة
الكترون


الكترون مثار
مستوى الطاقة
E
انتقال
الكتروني
فوتون
الكترون


Emission of Light
ORBIT
E
Light Photon

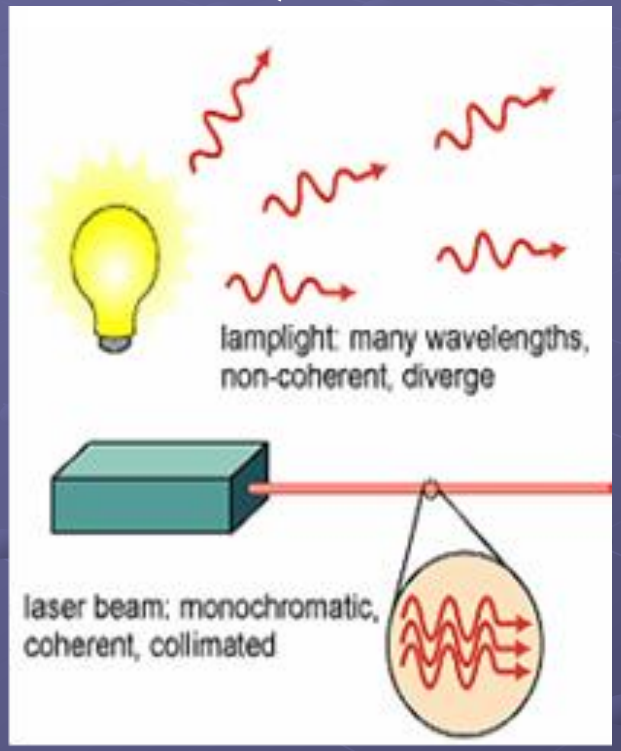

Before emission
During emission
After emission
Excited level
E_2
$h\nu$
Incident photon
ΔE
$h\nu$
$h\nu$
$h\nu$
Ground level
E_1
Atom in excited state
Atom in ground state
$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$


energy of atom
lifetime ~ 10^{-7} s
excited state
lifetime ~ 10^{-3} s
metastable state
ground state


pump
output wave
reflecting endplate
excited atoms
partially transparent

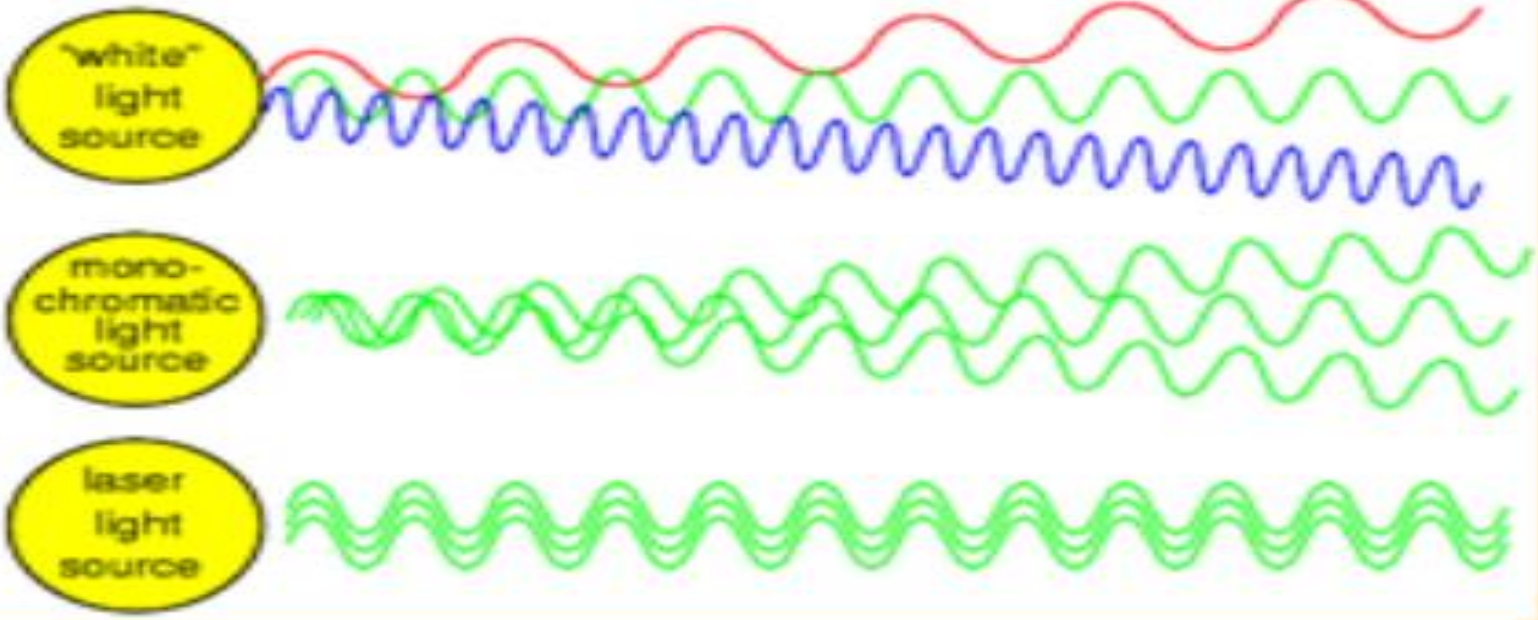
ويختلف ضوء الليزر عن الضوء العادي حيث يكون له الخصائص التالية:

* الضوء المنبعث أحادي اللون monochromatic أي أن له طول موجي واحد (ذي لون واحد نقي أو علي الأرجح حزمة ضيقة جدا من الأشعة)، ويحدد الطول الموجي لون الضوء الناتج وكذلك طاقته، بينما يتكون الضوء العادي من ألوان كثيرة مختلطة "ألوان الطيف".



* الضوء المنبعث من الليزر يكون متزامن coherent أي أن الفوتونات كلها في نفس الطور مما يجعل شدة الضوء كبيرة فلا تلاشي الفوتونات الضوئية بعضها البعض نتيجة لاختلاف الطور بينها.

* الضوء المنبعث له اتجاه واحد ثابت directional حيث يكون شعاع الليزر عبارة عن حزمة من الفوتونات في مسار مستقيم بينما الضوء العادي يكون مشتت وينتشر في أنحاء الفراغ، ومن ثم فأشعة الليزر مركزة الطاقة عند نقطة محددة تماما.



الموجات الضوئية العادية

متحدة الأطوال الموجية (ألوان مختلفة)
غير متوازية
متحدة الإتجاهات

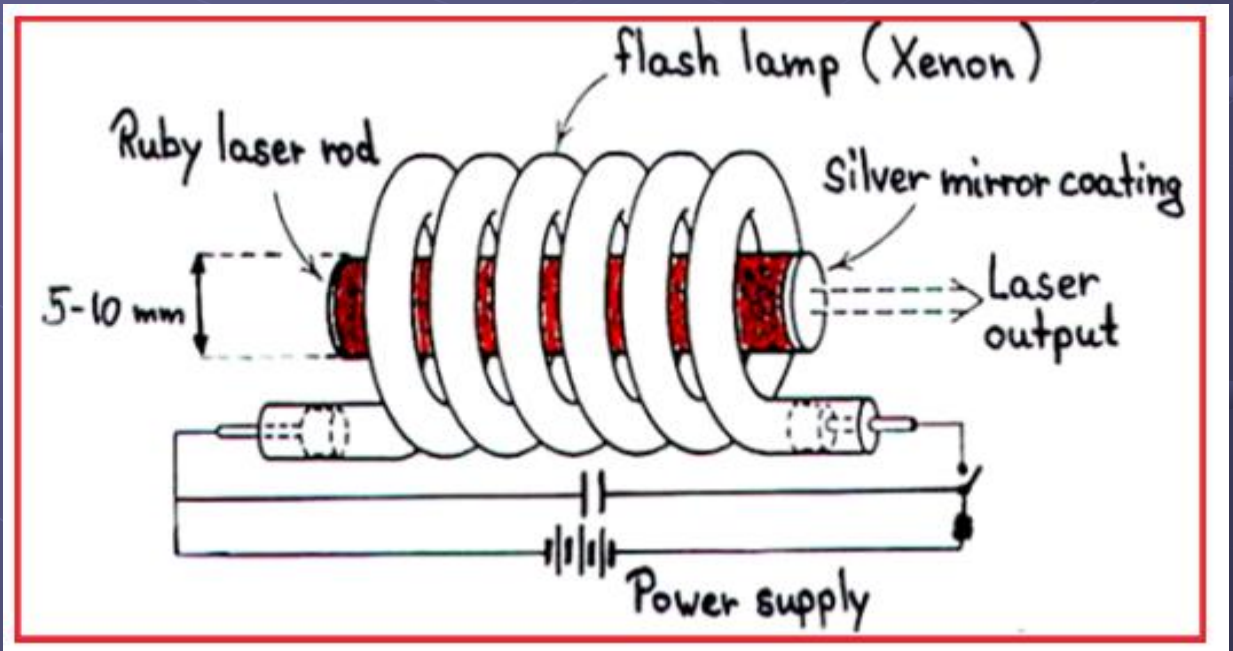
الموجات الضوئية لليزر

أحادية اللون
متوازية
أحادية الإتجاة

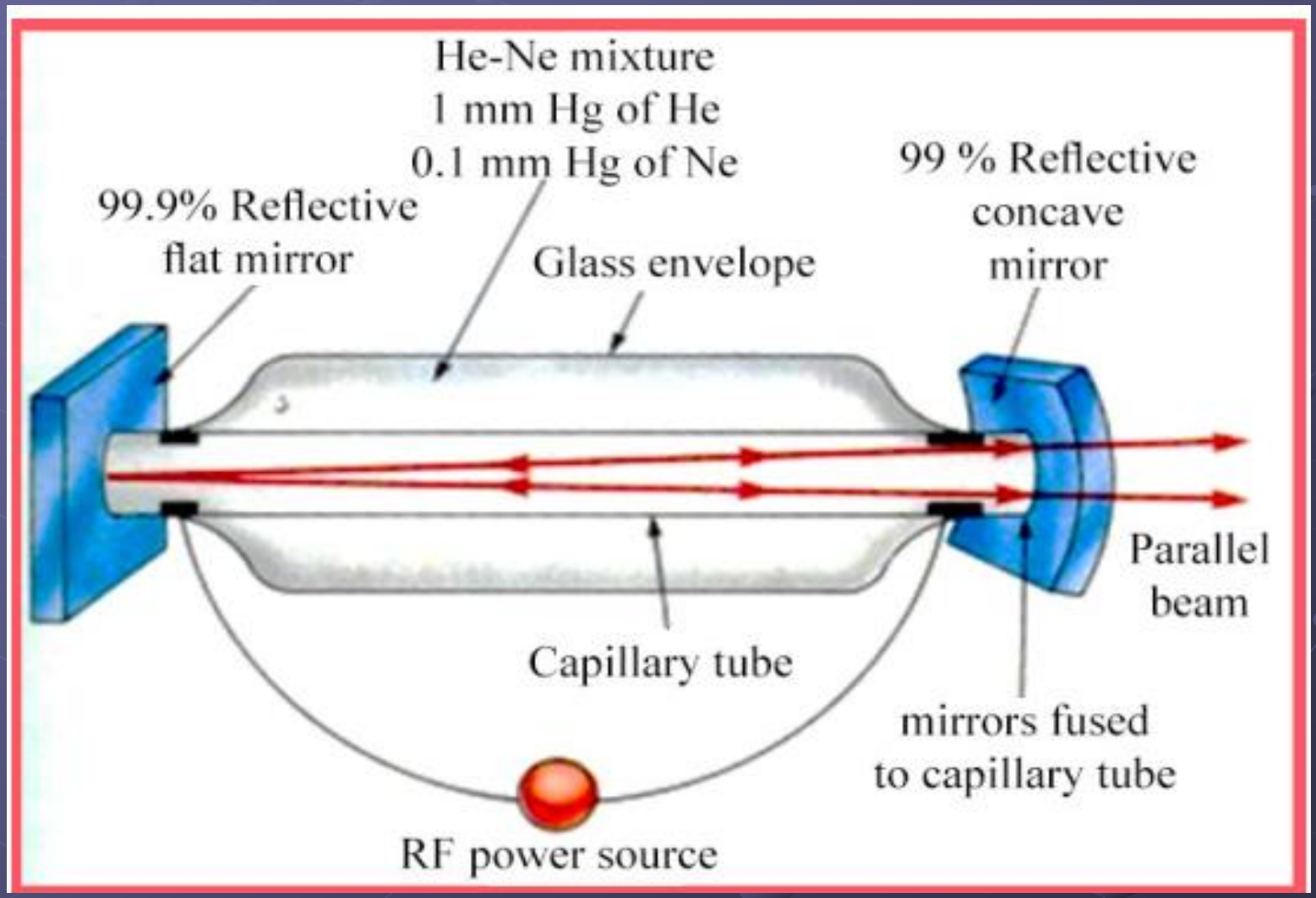
أنواع ومبادئ تشغيل الليزر:

هناك العديد من أشعة الليزر تنتج عن أجهزة متباينة الأشكال والتي تستخدم في أغراض مختلفة. ويمكن أن نصنفها تبعا للوسط الفعال الذي يوضع بالجهاز "مواد صلبة- سائلة- غازية" ذلك أن الوسط الفعال هو الذي يحدد طول موجة أشعة الليزر، ومن أهم أنواع الليزر:-

* **ليزر المواد الصلبة**: يصنع جهاز ليزر المواد الصلبة من أشباه الموصلات مثل الترانزستور، وهي ببساطة وحدات دقيقة تسمح بمرور التيار الكهربائي في اتجاه واحد فقط وتمنعه من المرور في الاتجاه المعاكس.



* **ليزر الغاز**: يتألف هذا النوع من الليزر من أنبوب زجاجي يحتوي علي مزيج من غازي الهيليوم "٩٠%" والنيون "١٠%" ويتصل بقطبين كهربيين لإمرار التيار الكهربائي.



* **ليزر السوائل**: يتكون الوسط الفعال في هذا النوع من أجهزة الليزر من سائل خاص يحضر من إذابة مادة النيوديوم بأكسيد كلوريد الصوديوم.

نوع الليزر	الطول الموجي لليزر (nm)
Argon fluoride (UV)	193
Krypton fluoride (UV)	248
Xenon chloride (UV)	308
Nitrogen (UV)	337
Argon (blue) Argon (green)	488 514
Helium neon (green)	543
Helium neon (red)	633
Rhodamine 6G dye (tunable)	570-650
Ruby ($CrAlO_3$) (red)	694
Nd:Yag (NIR)	1064
Carbon dioxide (FIR)	10600

- **تطبيقات الليزر**: هنالك عدد من تطبيقات الليزر أهمها:
  - التطبيقات الصناعية (القطع والتثقيب واللحام والتصليد)
  - القياسات والفحص (قياس المسافات والترصيف البصري وكشف العيوب)
  - التطبيقات الطبية والبيولوجية (أمراض العين والجراحة والتجميل والاستئصال والتصوير الإحيائي)
  - التطبيقات العسكرية (التوجيه والتتبع وتقدير المدى)
  - التطبيقات التجارية (الأقلام الضوئية والطابعات الليزرية وقارئات الأقراص المدمجة)

مميزات استخدام الليزر:

- عدم وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة الليزر ولذلك لا يوجد تلوث أو اجهادات ميكانيكية.
- استخدام الليزر لا يؤثر على الخواص الفيزيائية للمادة لان المنطقة التي تتأثر صغيرة جدا.
- يمكن استخدام الليزر مع مواد مختلفة مثل المعادن والسيراميك والزجاج والخشب دون حدوث تلف للمادة.
- إمكانية العمل في مواضع صعبة مثل الزوايا والانحناءات وغيرها.
- العمل يتم بسرعة عالية ودقيقة فمثلا يمكن إجراء عملية قطع المعادن بسرعة وهي أسرع عشر مرات من الطرق التقليدية.

- يمكن أن تكون عملية استخدام الليزر مبرمجة أوتوماتيكيا لغرض الدقة.
- يمكن الحصول على قدرات عالية جدا.

- شعاع الليزر لا يتلف نتيجة الاستخدام كما في حالة الآلات المستخدمة في الطرق التقليدية كالقواطع وقوس اللحام والمثقبات وغيرها.

- العمل بالليزر يتم بهدوء وبدون تلوث كما في الطرق التقليدية.

مساوئ استخدام الليزر:

- الكلفة التصنيعية والتشغيلية لمنظومة الليزر تكون عالية.
- منظومة الليزر تحتاج إلى خبرة جيدة لتشغيلها وديمومة عملها.
- مخاطر القدرة العالية.
- تحتاج منظومة الليزر إلى سيطرة وتحكم دقيقين.

استخدام تقنيات الليزر في ترميم الآثار:

تعتبر تقنية التنظيف بالليزر من أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في عملية التنظيف حيث أنها تختلف عن طرق التنظيف التقليدية سواء ميكانيكيه أو كيميائيه وفى كثير من الأحيان تكون هذه الطرق غير كافيه ويمكن أن تكون خطره على المرمم وخصوصا مواد التنظيف الكيميائية.

أنواع أشعة الليزر المستخدمة فى التنظيف:

١- من أنواع الليزر المستخدم في أغراض الترميم ليزر الياج YAG laser وهو من أفضل ليزرات المواد الصلبة التي تستخدم في مجال الترميم منذ سنوات لعده أسباب منها:

تكلفتها القليلة نسبيا وكفاءتها العالية مع أمكانيه تعديل مستويات الطاقة

ويعطى هذا النوع نبضات قصيرة short pulse بالقرب من الأشعة تحت الحمراء بطول موجي يبلغ ١.٠٦٤ ملليمتر، وعمليه إصدار الليزر في شكل نبضات يمكن التحكم فيها بسهوله حيث تتكون كل طلقه من النبضات من كميه محدده ومتكررة من الطاقة، ويمكن التحكم في عدد النبضات المنبعثة في الثانية وكذلك في المسافة بين جهاز أشعه الليزر وبين سطح الأثر المراد تنظيفه.

٢- من أنواع الليزر الأخرى المستخدمة لأغراض الترميم ليزر الأكسيمر excimer laser :

ويستخدم لتنظيف المباني والقطع الحجرية وغيرها وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تخضع لتجارب من حيث إمكانيات التطبيق إلا أن هذا النوع من الليزر يعتبر جيدا حيث يستطيع أزاله معظم مركبات نواتج التلف الموجودة على الأسطح الأثرية لانه يعتمد على استخدام موجات الأشعة فوق البنفسجية القصيرة التي تتميز بوجود طاقه عاليه تستطيع كسر الروابط الجزيئية للمركبات السطحية الملوثة وإزالتها بشكل كامل بدون إحداث أي تلف لسطح الأثر.

ومن أهم مميزات التنظيف بالليزر:

١- التحكم العالي high control حيث يعطى للمرمم القدرة على أزاله قدر محدد من الطبقات المراد التخلص منها بالإضافة إلى انه يستطيع أن يوقف التنظيف عند المستوى المطلوب.

٢- الاختيارية selectivity تعطى للمرمم القدرة على تمييز الطبقات التي سيتم إزالتها مع المحافظة على السطح الأصلي وهذا يعتمد على عدة عوامل مثل معدل انعكاس السطح surface reflection ومدى ترابط مادته.

٣- التطبيق الموضعي localized action حيث يتم تنظيف المنطقة التي يوجه إليها فقط. لذلك فالتنظيف بالليزر يعتبر اختيار جيد لحل مشاكل الصيانة التي لا يمكن حلها أو التي تتطلب حلولا صعبه باستخدام وسائل التنظيف التقليدية فتستخدم هذه الطريقة لمعالجه الآثار عاليه الهشاشية والتي حدث لها تغير altered حيث من الممكن إتمام عمليه التنظيف بدون إيه ضغوط ميكانيكيه وبالتالي عدم حدوث هشاشيه fragmentation أو تقشر لسطح الأثر.

٤- من أهم مميزاته أيضا الأمان والسرعة الكبيرة مقارنه بالطرق الميكانيكية الأخرى حيث أن النبضة الواحدة المنبعثة من الليزر تستطيع تنظيف منطقه تصل مساحتها إلى ٢٥ مم٢.

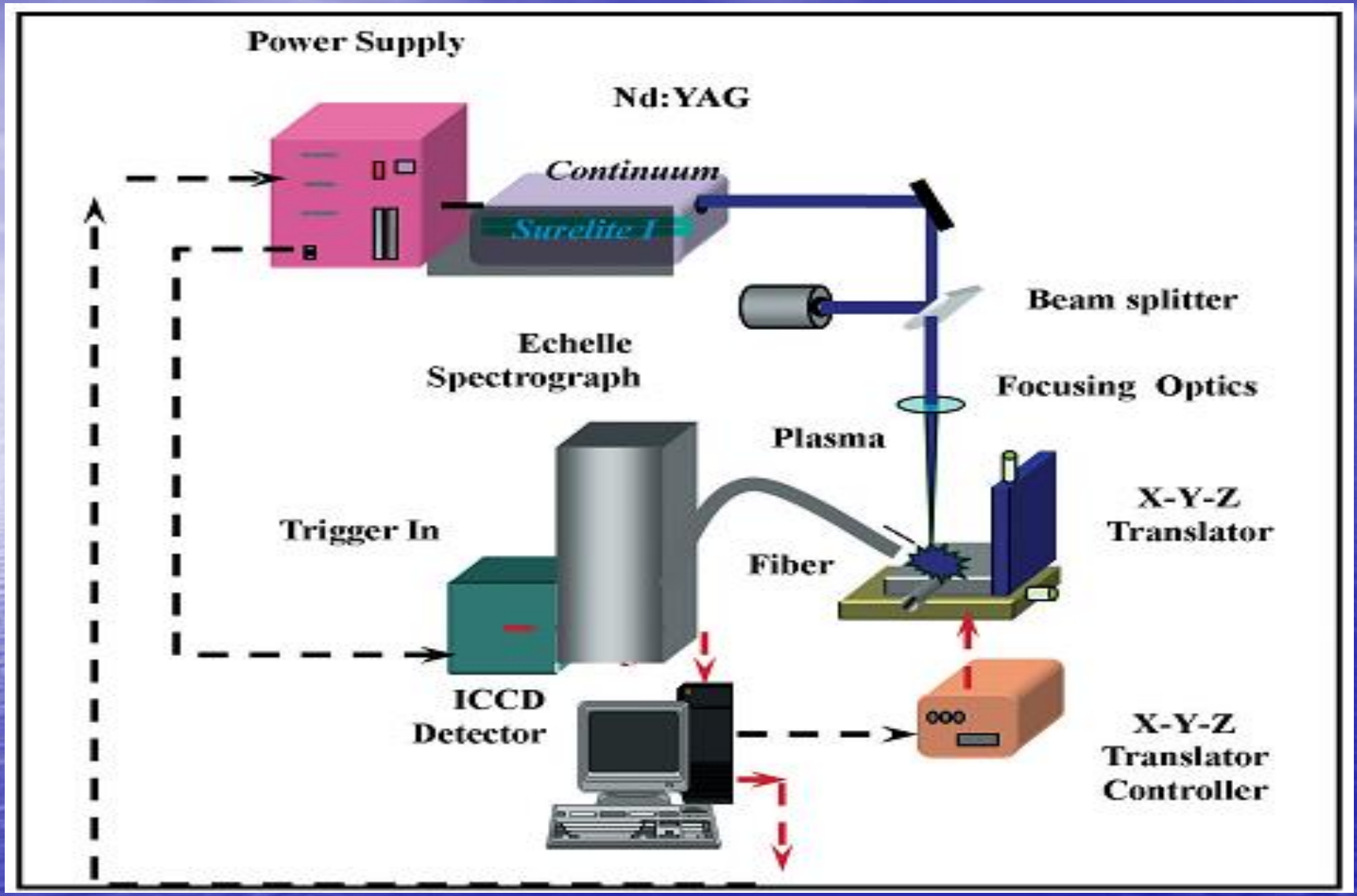
٥- أمكانيه أزاله نواتج التلف دون التأثير على السطح الأثري مما يؤدى إلى الحفاظ على السطح الأصلي للأثر.

٦- إزالة الأتربة والعوالق ونواتج التلف من على أسطح المناطق الزخرفية ذات التفاصيل الدقيقة والطبقات الملونة والحساسة بأمان كامل وكفاءة جيده.

٧- يمكن لمولد أشعه الليزر أن ينتج العديد من الأقطار المختلفة لحزمه الشعاع الأحادي تتراوح ما بين كسور المليمترات إلى واحد سم بما يعنى أن الجهاز يمكن أن يستخدم لتنظيف التفاصيل الدقيقة للسطح وأيضا المساحات الكبيرة.

٨- يمكن للمرمم القائم بالتنظيف أن يوقف الجهاز لحظيا في حاله انقطاع التيار الكهربي مما يعطيه تحكم أفضل لوقف عمليه التنظيف عندما يقرر ذلك.

٩- يوجد نظامين لمولدات الليزر تستخدم في أعمال الترميم إحداهما ثابت ويستخدم في تنظيف القطع الأثرية المنقولة والتي يتم نقلها إليه ليتم إجراء عمليه التنظيف والثاني متحرك يمكن نقله إلى مكان وموقع الاستخدام ويمكن الوصول إلى أدق التفاصيل من خلال الكابل المصنوع من الألياف البصرية المرنة وإجراء عمليات التنظيف بسهوله.



شكل يوضح نظام جهاز الليزر او ما يعرف بـ laser setup

ميكانيكيه استخدام الليزر فى التنظيف:

عند انطلاق اشعه الليزر فإن قوه امتصاص الطاقه تؤدى الى تسخين سريع هذا التسخين يؤدى الى تفكك الأتربه والأتساخات والجزيئات المتآكله من التلف حتى يسهل ازالتها .

حيث ان التنظيف بالليزر يعتمد على :

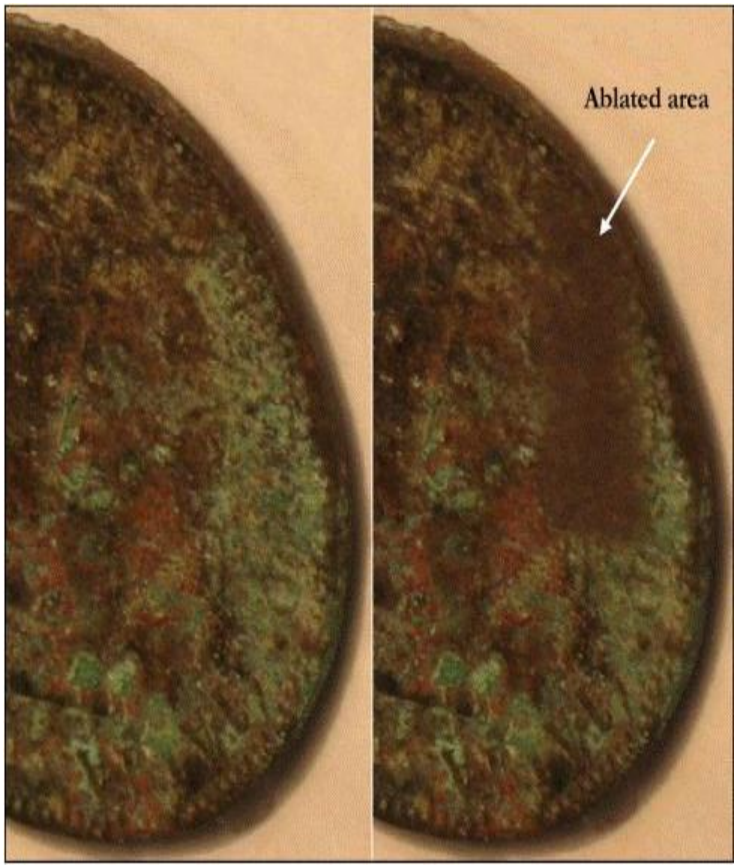
- الطول الموجى
- كثافه الطاقه المنبعثه
- مده النبضه
- تكوين القشره وسمكها

من امثله القطع الاثريه التى تم تنظيفها بواسطه تقنيه الليزر:

عملتان معدنيتان مصنوعتان من النحاس «copper roman coins»

- حيث تم التطبيق على عملتين معدنيتين من العملات الرومانيه حيث يصل متوسط سمكهم الى ١.٢ مملى وقطرهم ٢٠ مم ١٨.٥ مم حيث استخدم اشعه ليزر ياج حيث كانت مده النبضه من ٨ نانو ثانيه الى ٨٠ ميكروثانيه .
- حيث استخدمت تقنيه التنظيف بالليزر لإزاله بقعه كلور من قطعه برونزيه حيث تم اطلاق اشعه ليزر حيث وصلت بقعه الليزر المستخدم ٥.٦ سم ثم تم عمل طلقات بالليزر وصلت الى ٣٠ طلقه وجدنا ان تركيز الكلور الموجود فى القطعه انخفض من ٨.٦ % الى ٥.٥% .
- وعند استعراض نتائج التنظيف بالليزر على القطعه البرونزيه والعملات المعدنيه النحاسيه نجد ان التنظيف بالليزر اكثر امنا وفاعليه فى عمليه التنظيف .

صور لبعض الامثله التوضيحية:



Laser cleaning for art restoration

IESL - FORTH

Excimer laser cleaning system (IESL-FORTH)

Laserblast cleaning system (Quantel)

Nd:YAG laser cleaning prototype
(NMGM, Liverpool)

IESL- FORTH

Laser cleaning for art restoration

IESL- FORTH

Marble sculpture laser cleaning

«Hermes»

Roman statue

Ancient Messene

«Lithou Syntirisis»

IESL-FORTH

IESL- FORTH

Laser cleaning of marble encrustation

Laser cleaning campaigns at the Athens Acropolis

P. Pouli, V. Zafiropulos, E. Totou, C. Fotakis

In collaboration with

Laser cleaning of marble encrustation

Laser cleaning campaigns at the Athens Acropolis

IESL- FORTH

Laser cleaning of marble encrustation

West Parthenon Frieze (block 3)

P. Pouli, V. Zafiropulos, C. Fotakis

In collaboration with

IESL- FORTH

Laser cleaning of marble encrustation

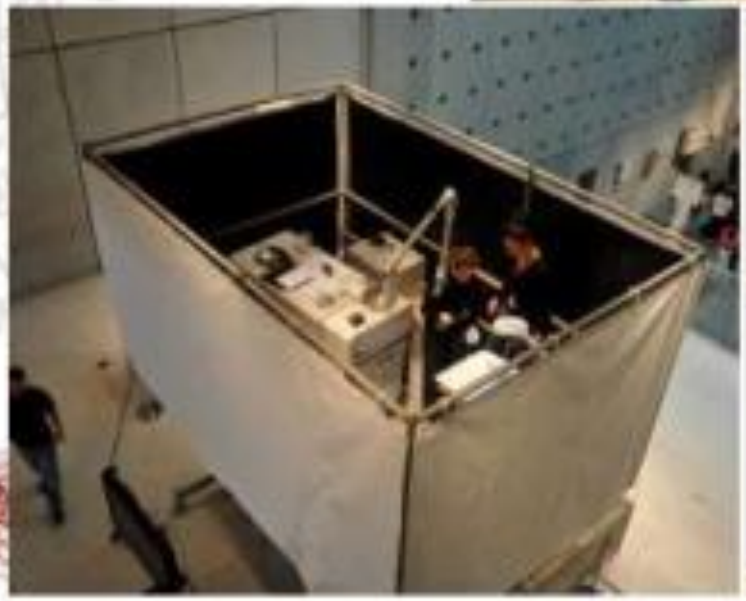
Detail from Caryatis F of the Erechtheum
Removal of thick dendritic pollution encrustation

In collaboration with:

A' Ephory of Antiquities, Greek Ministry of Culture

IESL - FORTH

Lasers @ the New Acropolis Museum



Thank You!