



Β' εργαστήριο Ακτινολογίας
Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ

**Βασικές αρχές των Lasers/
Βιοφυσικοί μηχανισμοί
αλληλεπίδρασης της δέσμης Laser με
τους ιστούς**

Σπυράτου Ελλάς

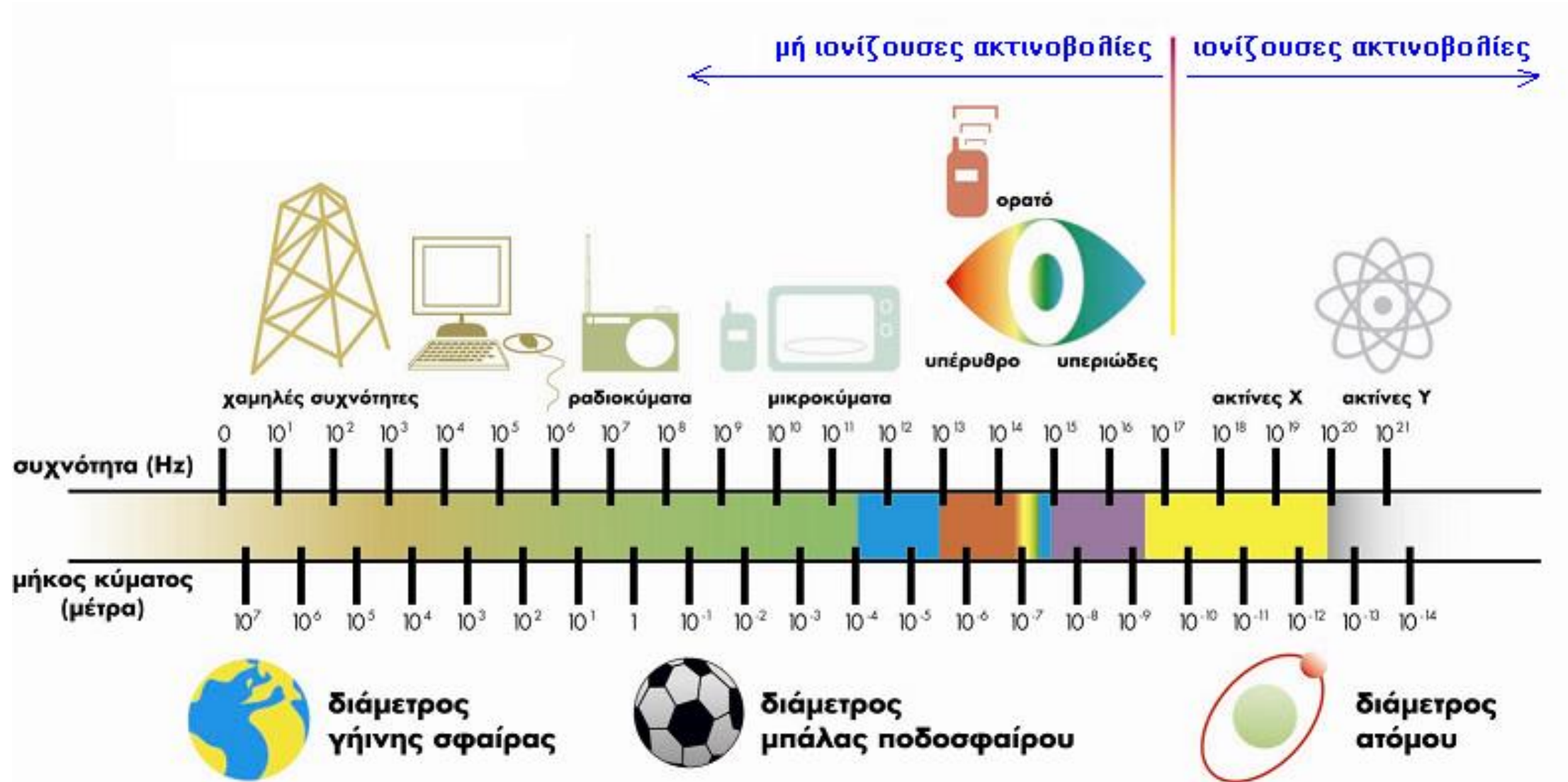
**Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια,
Β' Εργαστήριο Ακτινολογίας, Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ**



LASER

- ❖ Βασικές αρχές ακτινοβολίας laser.
- ❖ Πρωταρχικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας laser με ιστούς.
- ❖ Βιοφυσικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας laser με ιστούς.

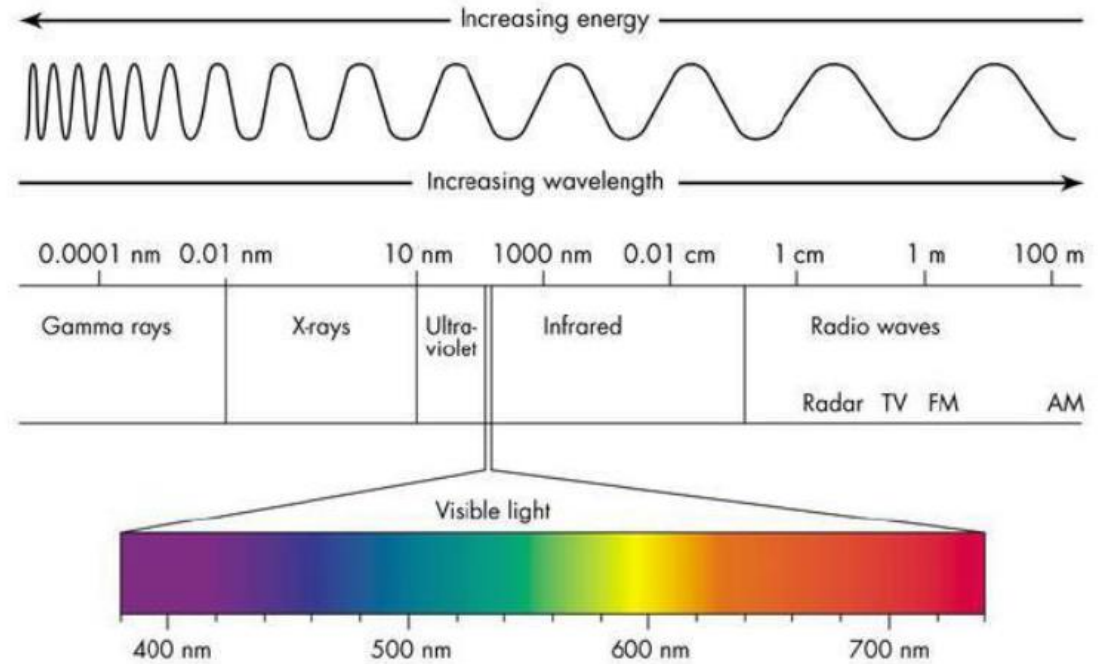
Η ακτινοβολία laser και η σχέση της με το φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας



Η ακτινοβολία laser ως Η/Μ κύμα

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Μήκος κύματος Συχνότητα κύματος



Η ακτινοβολία laser ως σωματίδιο-φωτόνιο

$$E = h f$$

Ενέργεια φωτονίου Συχνότητα φωτονίου

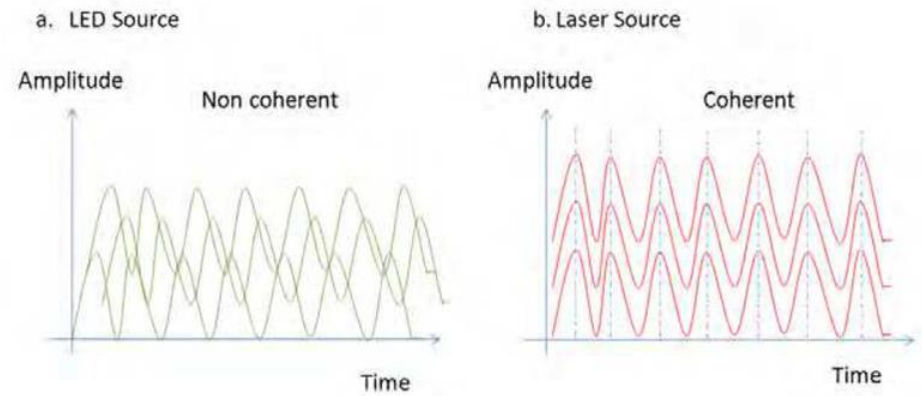
$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s είναι η σταθερά του Planck.



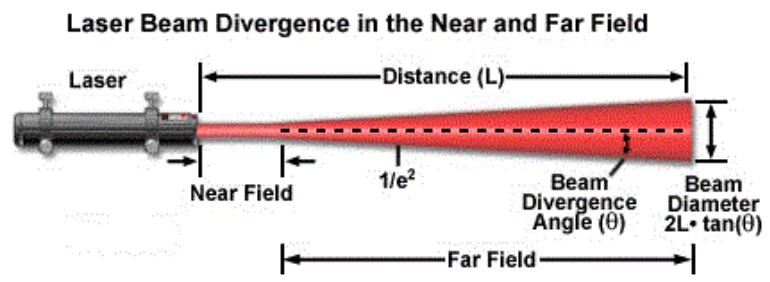
❖ Ιδιότητες της ακτινοβολίας laser

A) Μονοχρωματικότητα:

B) Συμφωνία: i) Χρονική συμφωνία
ii) Χωρική συμφωνία

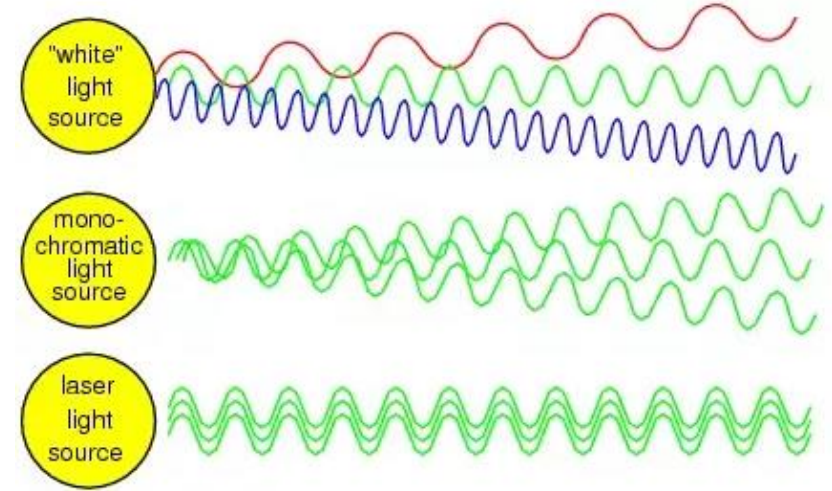
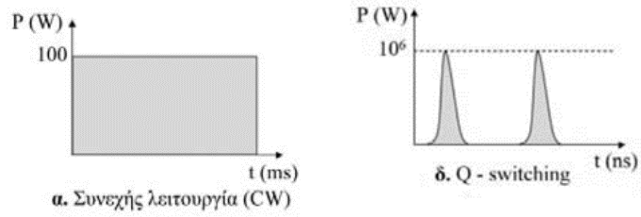


Γ) Κατευθυντικότητα



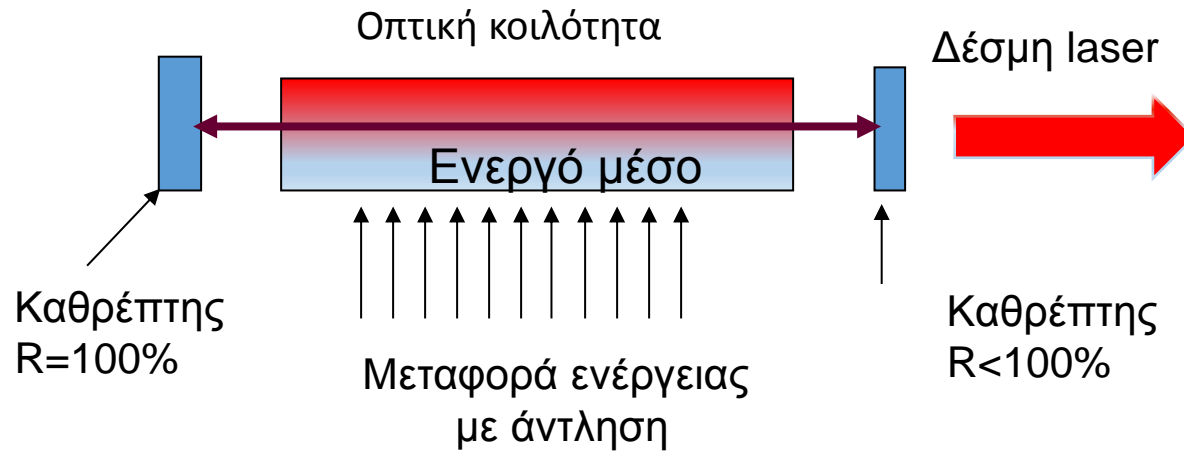
Δ) Λαμπρότητα

E) Συνεχής ή παλμική λειτουργία



LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

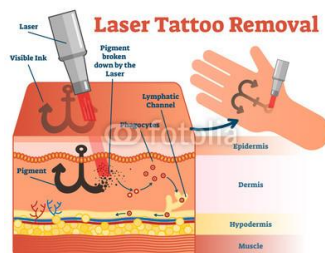
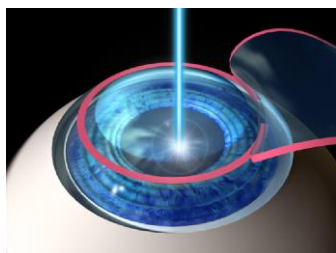
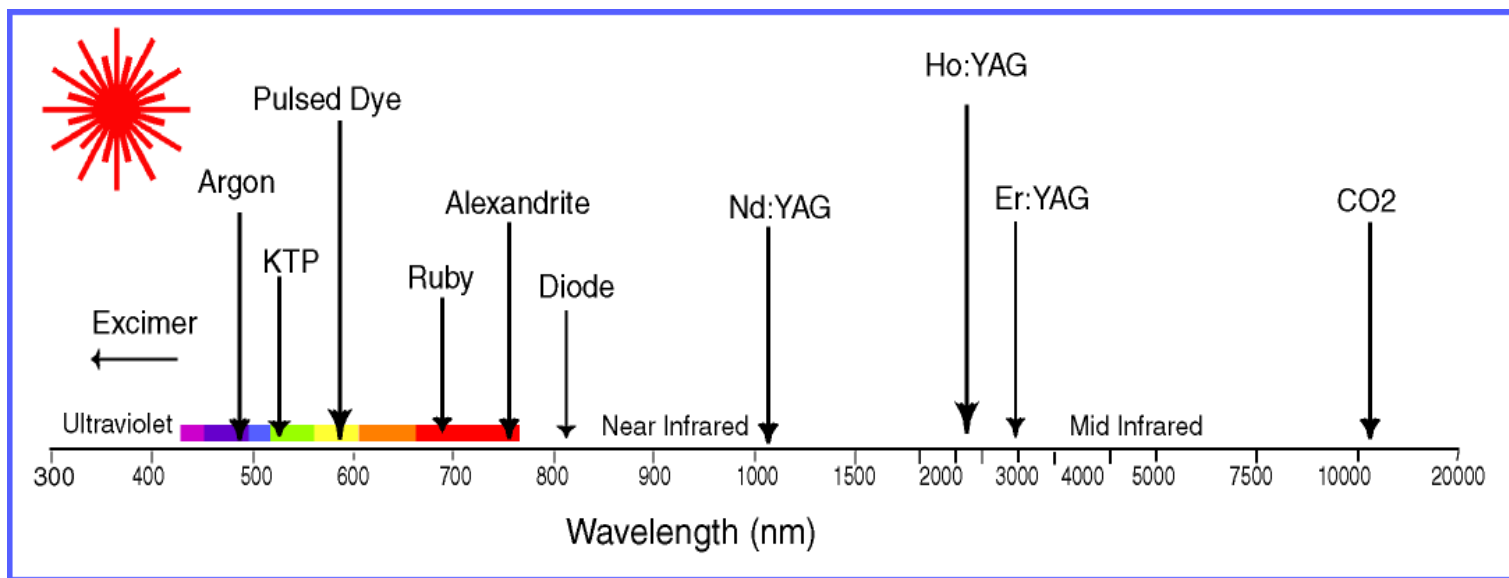
“Ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας”



- **Ενεργά υλικά** ομοιογενούς πληθυσμού **διεγερμένων ατόμων, μορίων ή ιόντων** που κατά την **αποδιέγερση τους** εκπέμπουν **ακτινοβολία laser**.
- **Διέγερση ενεργού υλικού** μέσω άντλησης: **λυχνίας φλας, ηλεκτρικής εκκένωσης, χημικής διέγερσης** κ.α).
- Το είδος του **ενεργού υλικού** καθορίζει το **μήκος κύματος** της παραγόμενης ακτινοβολίας.

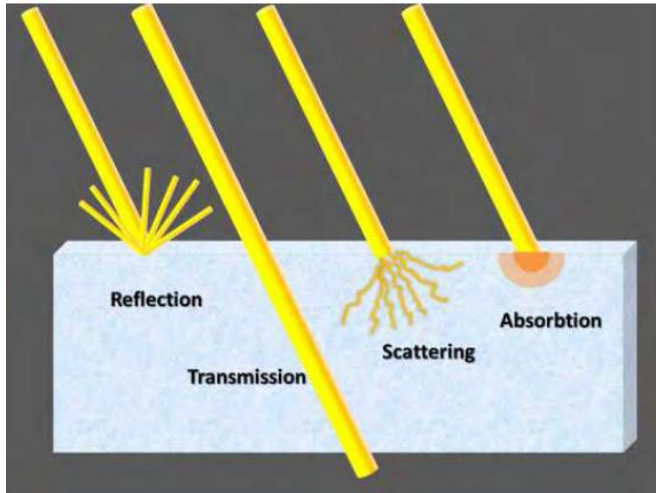
Ιατρικά laser στο οπτικό φάσμα

- **Ενεργό υλικό:** Στερεάς κατάστασης (Κρύσταλλος Nd:YAG, Er:YAG, Ho:YAG κα), αέριο (CO₂, Ar+, He-Ne), ημιαγωγοί (διοδικά laser), διαλύματα υγρών κ.α

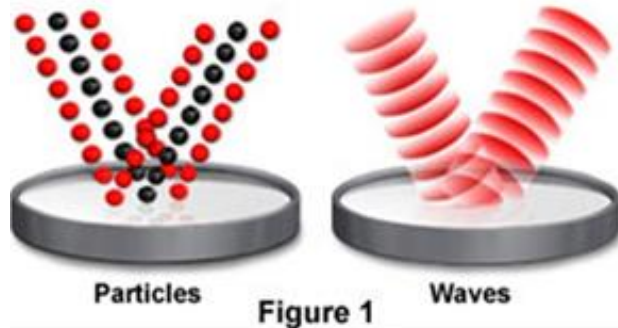


✚ Πρωταρχικοί μηχανισμοί αλληλεπίδραση ακτινοβολίας laser – ιστών

❖ Σύγκριση με την αλληλεπίδραση δέσμης ακτίνων X - φωτός laser με την ύλη



Particles and Waves Reflected by a Mirror



Φυσικές ιδιότητες των ακτίνων X:

- ❖ Ευθύγραμμη διάδοση
- ❖ Μεγάλη διεισδυτική ικανότητα ($\sim V, Z$)
- ❖ Προσβάλλουν τη φωτογραφική πλάκα
- ❖ Προκαλούν φθορισμό σε υλικά
- ❖ Προκαλούν ιονισμό
- ❖ Προκαλούν βιολογικές δράσεις

Φυσικές ιδιότητες των ακτίνων laser:

- ❖ Συμφωνία
- ❖ Κατευθυντικότητα
- ❖ Μονοχρωματικότητα
- ❖ Λαμπρότητα
- ❖ Συνεχής ή παλμική λειτουργία
- ❖ Προκαλούν φωτοθερμικά, φωτοχημικά και φωτομηχανικά φαινόμενα

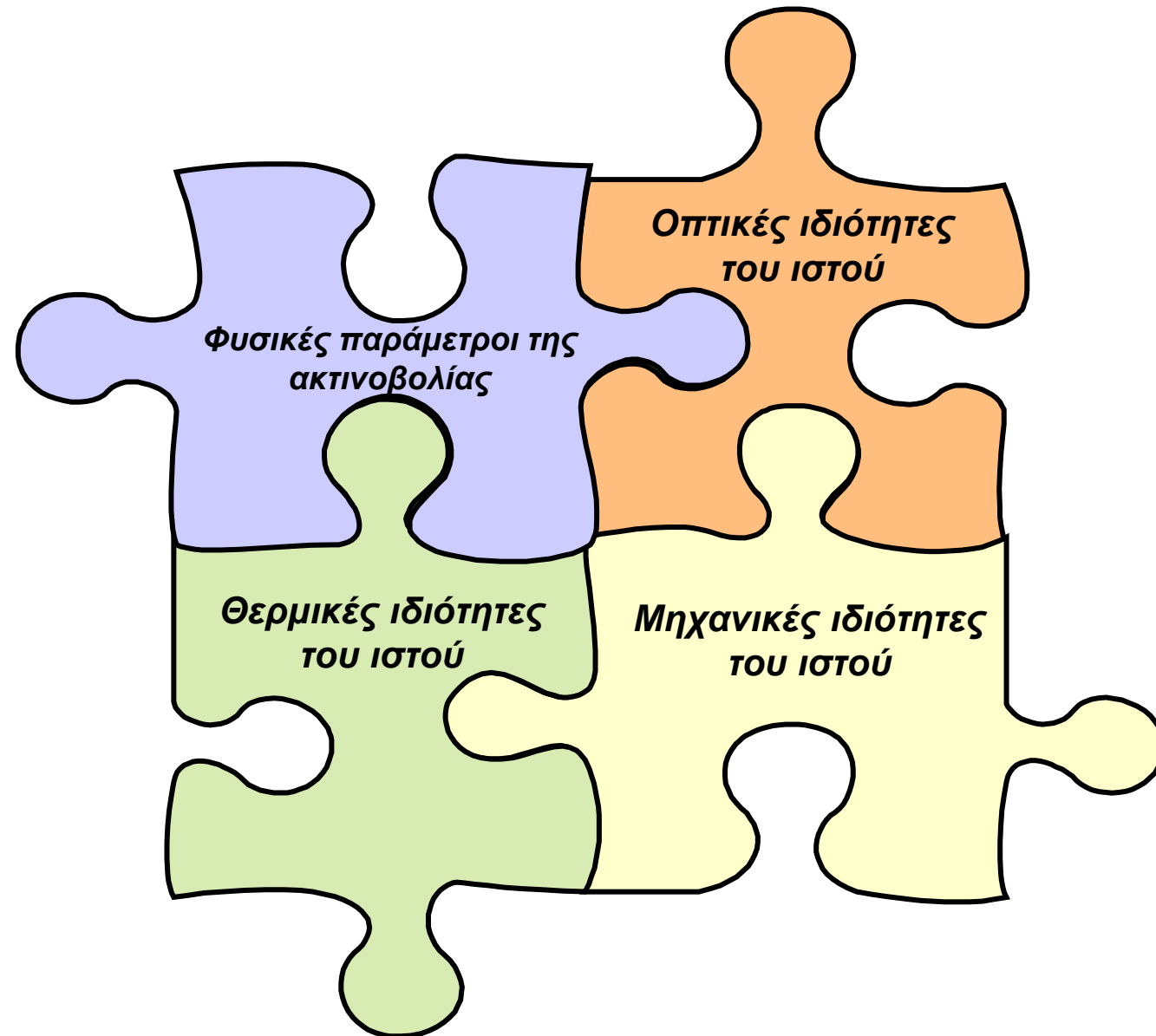
Τα κύρια φυσικά φαινόμενα κατά την ακτινοβόληση με δέσμη ιοντίζουσας ακτινοβολίας:

- ❖ Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,
- ❖ Φαινόμενο Compton,
- ❖ Δίδυμη γένεση,

Τα κύρια οπτικά φαινόμενα κατά την ακτινοβόληση με δέσμη laser:

- ❖ Απορρόφηση της ακτινοβολίας,
- ❖ Διάθλαση της ακτινοβολίας,
- ❖ Ανάκλαση/σκέδαση της ακτινοβολίας,

Η βιολογική δράση της ακτινοβολίας laser

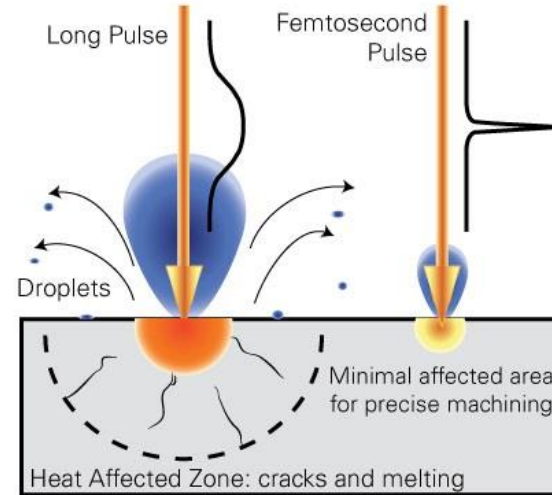
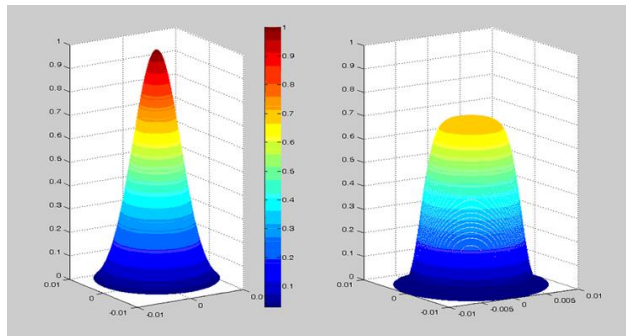


Η βιολογική δράση της ακτινοβολίας laser εξαρτάται από τις:

Φυσικές παράμετροι της ακτινοβολίας:

- ◆ μήκος κύματος
- ◆ πυκνότητα ενέργειας
- ◆ πυκνότητα ισχύος
- ◆ Διάρκεια παλμού
- ◆ χρόνος αλληλεπίδρασης
- ◆ Ποιότητα της δέσμης

3D απεικόνιση Gaussian δέσμης

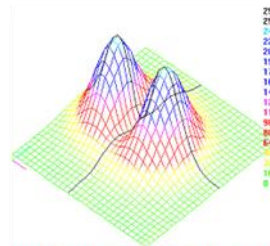
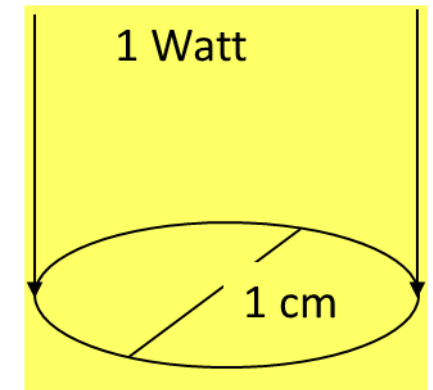


$$F = E / \pi (d/2)^2$$

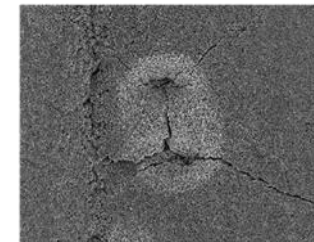
Fluence Example

3 Joules per pulse
4mm spot diameter
Fluence = 24J/cm²

3 Joules per pulse
10mm spot diameter
Fluence = 3.8J/cm²



3D beam profile at the output of the Q-switched Er:YAG laser.



Root dentin surface alteration by Q-switched Er:YAG laser ablation

Η βιολογική δράση της ακτινοβολίας laser εξαρτάται από τις:

📺 Οπτικές ιδιότητες του στόχου

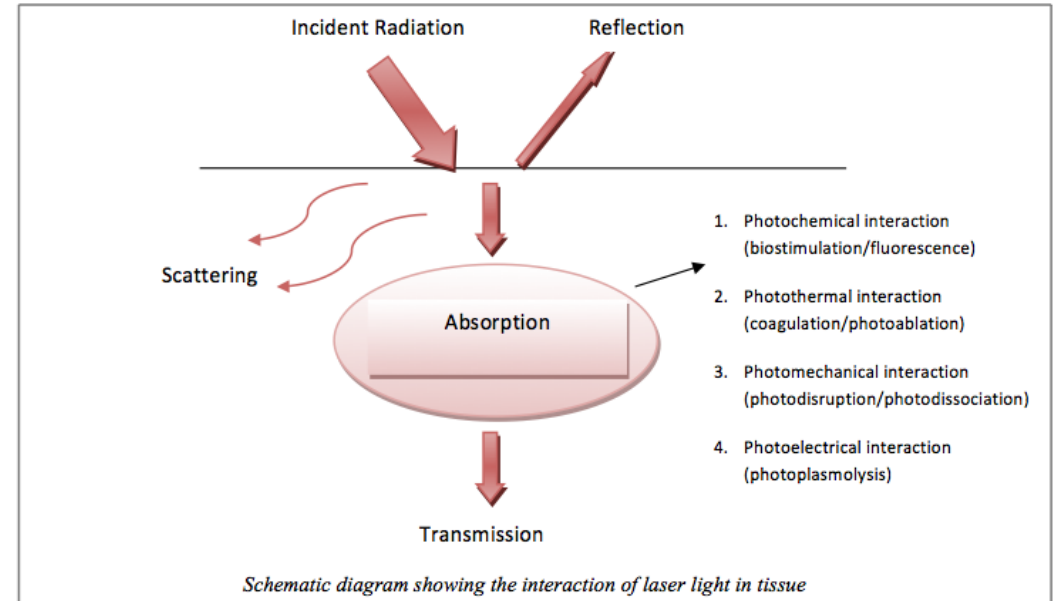
- ◆ Συντελεστής ανάκλασης
- ◆ Συντελεστής διαπερατότητας
- ◆ Συντελεστής διάχυσης

📺 Θερμικές ιδιότητες του στόχου

- ◆ **Θερμική αγωγιμότητα**
- ◆ **Ειδική θερμότητα**
- ◆ **χρόνος θερμικής αποκατάστασης**
- ◆ **Συντελεστής απορρόφησης** $\mu_a(T) = \mu_{a,0} + \beta \Delta T$


📺 Μηχανικές ιδιότητες του στόχου

- ◆ **Ελαστικότητα**
- ◆ **Σκληρότητα**
- ◆ **Αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό**



http://www.cosmeticmd.com.au/Treatments/Laser_Tech.php

Βιοφυσικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας laser με ιστούς

Απορρόφηση Η/Μ ενέργειας laser από έμβιο στόχο  **Μετατροπή σε άλλη μορφή ενέργειας :**

- Ενέργεια χημικών δεσμών
- Θερμότητα
- Μηχανική ενέργεια (κύματα πίεσης)
- Ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου
- Φωτεινή ενέργεια (φθορισμός – φωσφορισμός)

Θερμικές διαδικασίες – φωτοθερμική δράση

Μη θερμικές διαδικασίες - φωτοχημική δράση, φωτομηχανική δράση

☀ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ

❖ Μονο-φωτονική διέγερση:

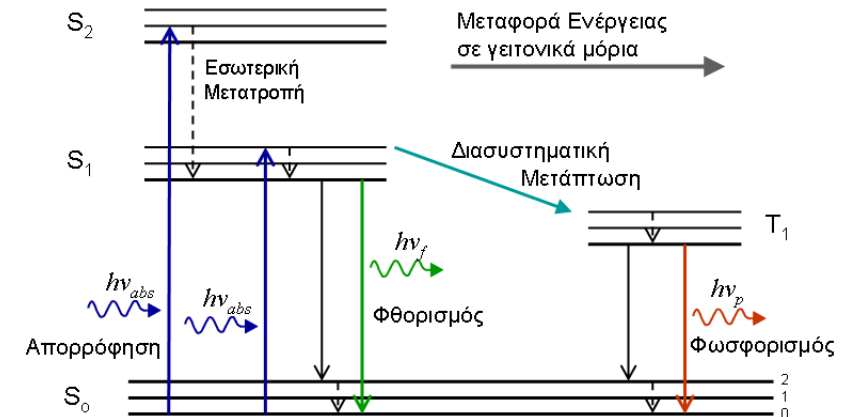
Απορρόφηση ενός φωτονίου $h\nu$ UV/VIS από τα χρωμοφόρα \longrightarrow ηλεκτρονική διέγερση
 \longrightarrow φωτοβιοχημική αντίδραση

❖ Πολυ-φωτονική διέγερση:

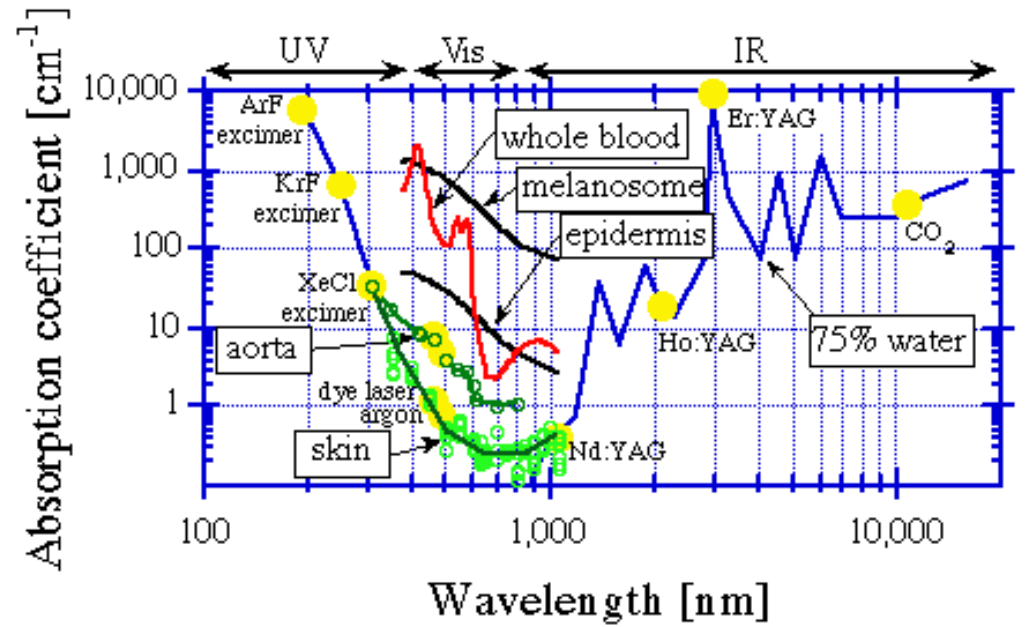
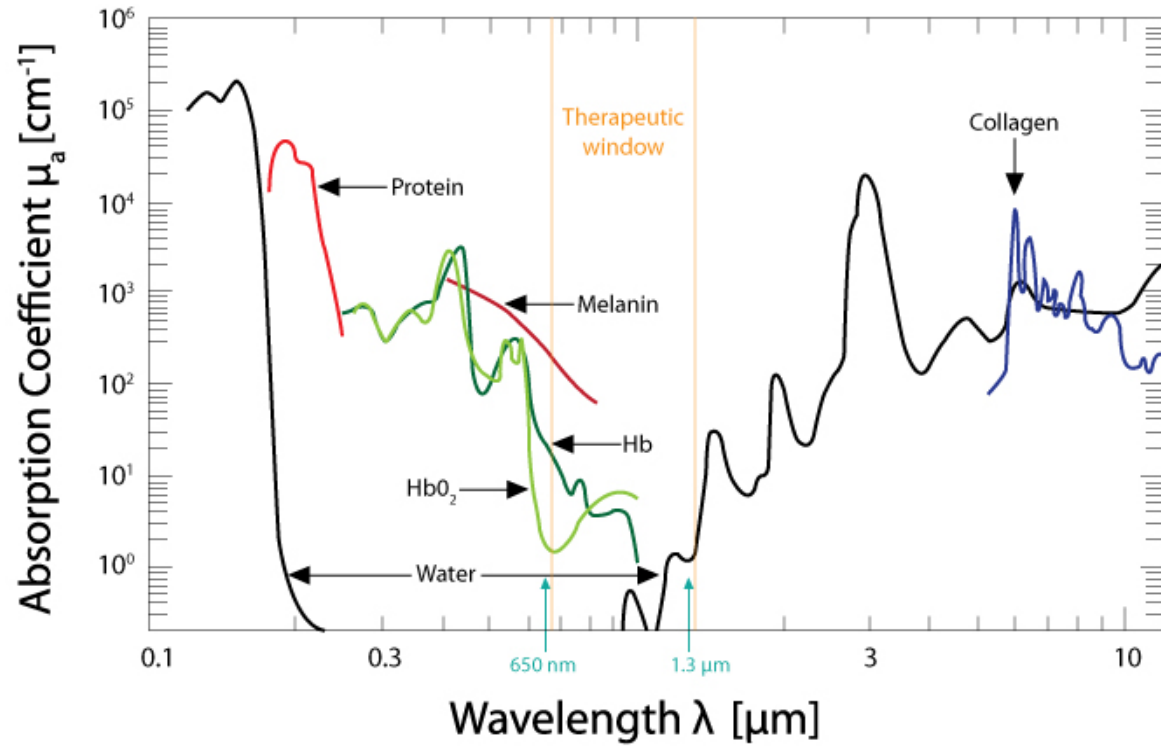
Απορρόφηση δύο ή περισσότερων φωτονίων $h\nu_1, h\nu_2$ κ.λ.π. και φωτοδιέγερση από τη θεμελιώδη στάθμη S_0 σε singlet S_1 και S_n ή σε triplet T_1 .

➤ Φωτοβιοχημικά αποτελέσματα-εφαρμογές:

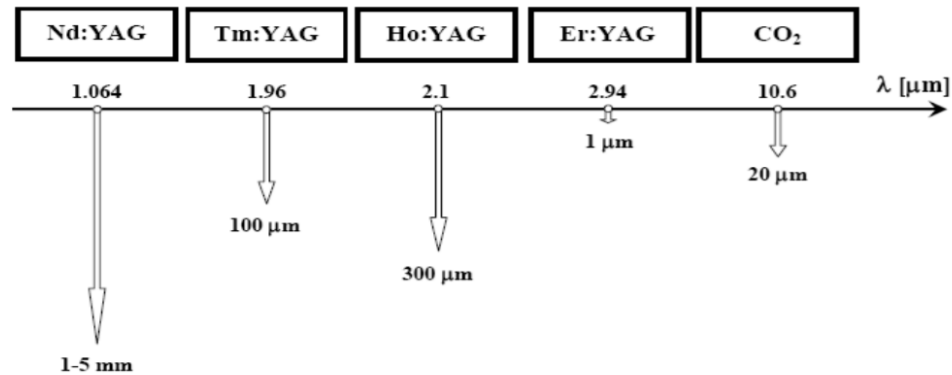
- Φωτοδυναμική θεραπεία
- Βιοδιέγερση για επούλωση πληγών
- Φωτοδιάγνωση με laser



Συντελεστές απορρόφησης βιομορίων συναρτήσει του μήκους κύματος



Βάθος διείσδυσης \Rightarrow [συντελεστής απορρόφησης]⁻¹

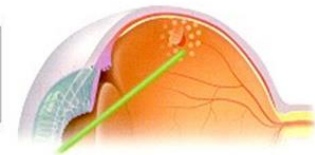
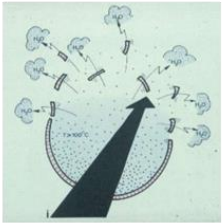
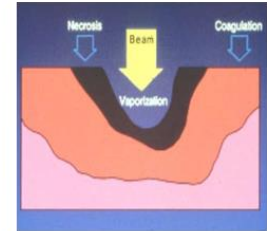
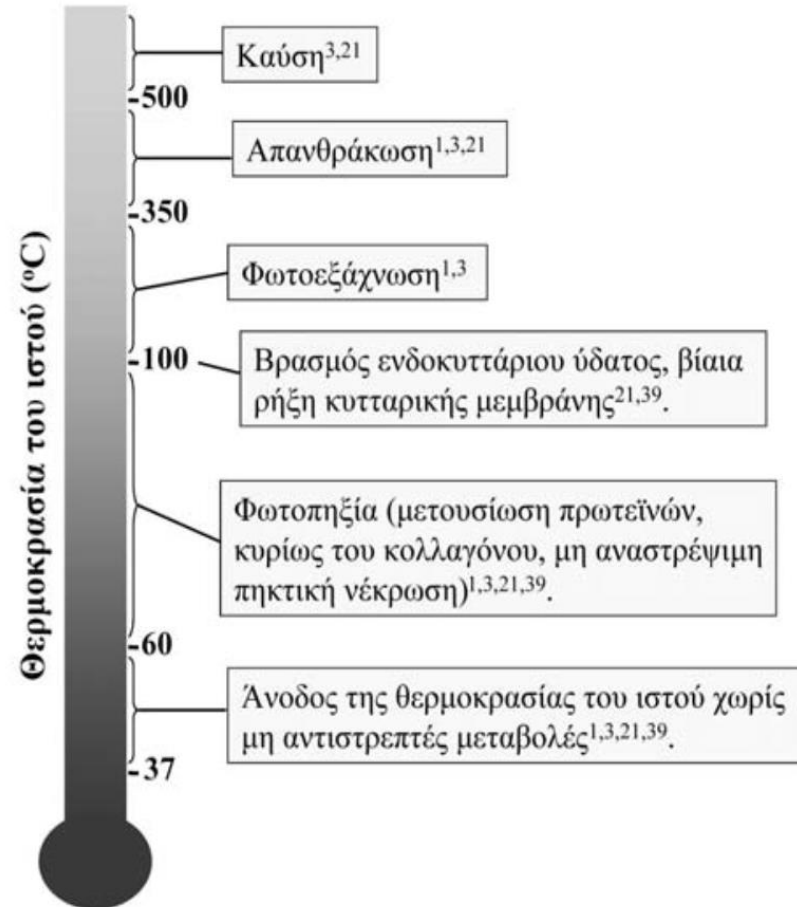


ΦΩΤΟΘΕΡΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

- ❖ Η/Μ ακτινοβολία laser στην ορατή ή υπέρυθρη περιοχή απορροφάται από τα μόρια του ιστού προκαλώντας την ταλάντωση και την περιστροφή τους, που ακολουθείται από θερμικές μη ακτινοβολητικές διαδικασίες και μη θερμικές ακτινοβολητικές διαδικασίες.
- ❖ Οι μη ακτινοβολητικές διαδικασίες οδηγούν στη θέρμανση του υλικού.
- ❖ Οι ακτινοβολητικές διαδικασίες όπως ο φθορισμός, και η φωταύγεια προκαλούν ως δευτερογενές αποτέλεσμα τη θέρμανση του υλικού.

ΦΩΤΟΘΕΡΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

- ❖ Διάδοση θερμικών κυμάτων στην επιφάνεια και στον όγκο του υλικού που προκαλούν μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του.
- ❖ Ανάλογα με τις οπτικές και θερμικές ιδιότητες του βιολογικού στόχου, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται οδηγούν σε:



Φωτοθερμική δράση των laser – παρενέργειες

Διάχυση της θερμότητας: Βασική αιτία για τη δημιουργία ανεπιθύμητων περιοχών νέκρωσης ή άλλης βλάβης στον ιστό.

Για να ελαχιστοποιηθεί η διάχυση της θερμότητας, το βάθος απορρόφησης της ακτινοβολίας laser πρέπει να περιοριστεί στο λεπτότερο στρώμα κοντά στην επιφάνεια του ιστού.

Επίσης η διάχυση της θερμότητας συνδέεται με το χρόνο θερμικής αποκατάστασης του υλικού:

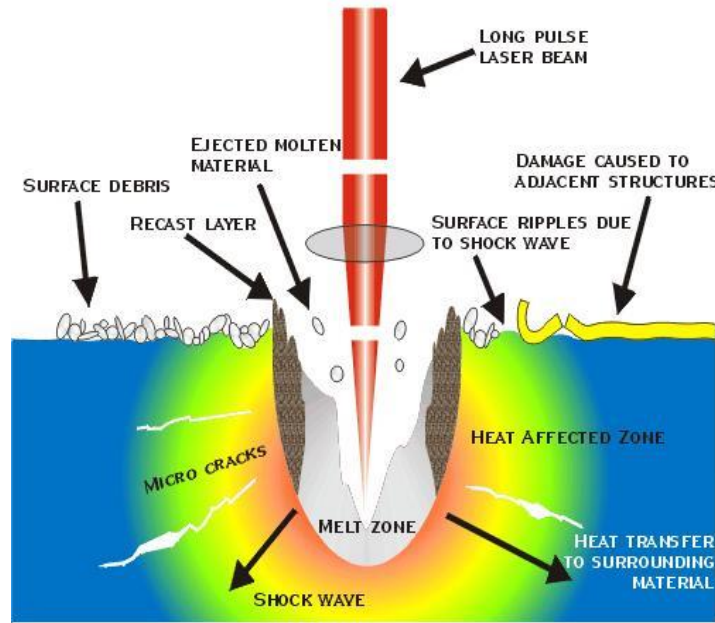
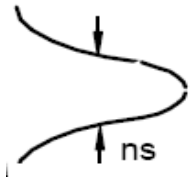
$$\tau = \frac{1}{D \cdot \mu^2}$$

όπου $D(\text{m}^2/\text{s})$ είναι ο συντελεστής της θερμικής διάχυσης του ιστού.

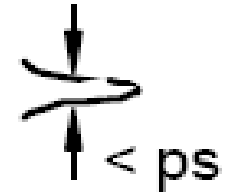
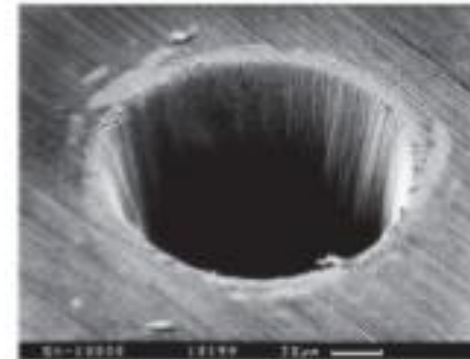
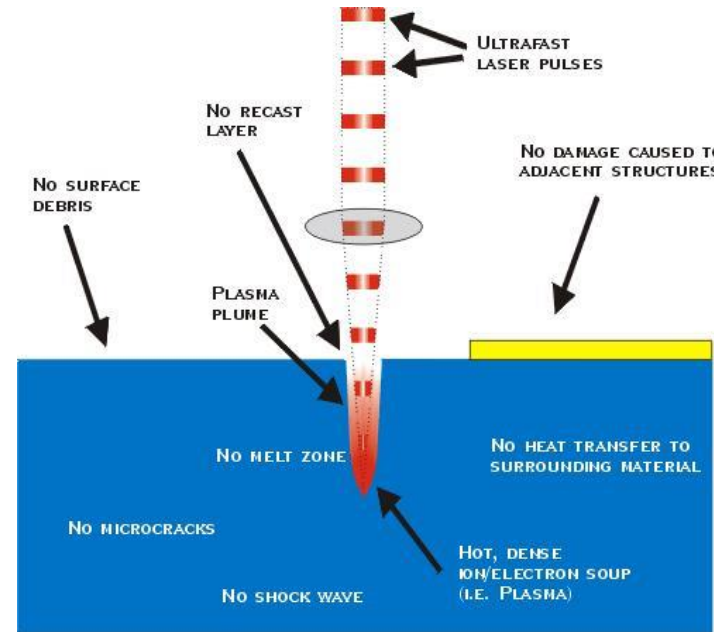
- Για $t_p < \tau$ η θερμική διάχυση μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Αποδόμηση με παλμούς διαφορετικής διάρκειας

βραχείς παλμοί



πολύ βραχείς παλμοί



ΦΩΤΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

Δημιουργία μηχανικών κυμάτων

- Απορρόφηση ισχυρής παλμικής H/M laser από ορισμένα βιομόρια ➔ **Φωτοϊονισμός και διάσπαση μοριακών δεσμών με «ψυχρό» τρόπο.**
- Ο φωτο-ιονισμός, είτε με θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων ή με πολυφωτονικό ιονισμό ➔ **πλάσμα** ➔ **υδροδυναμικών ακουστικών και κρουστικών κυμάτων** ➔ **ρήξη μοριακών δεσμών** ➔ **εκρηκτική απομάκρυνση.**

Εφαρμογές:

- Η ενδοσκοπική λιθοτριψία
- Χειρουργική αφαίρεση καταρράκτη
- ορισμένοι τύποι χειρουργικών επεμβάσεων κ.ά.

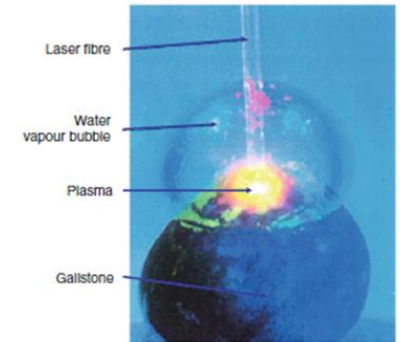
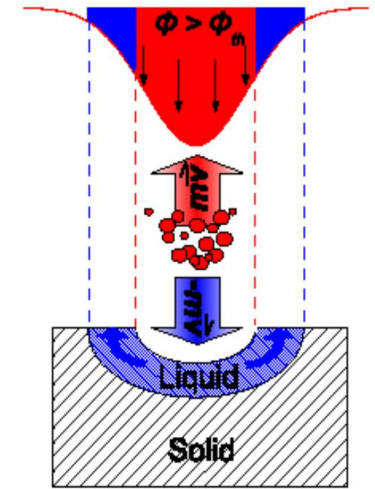
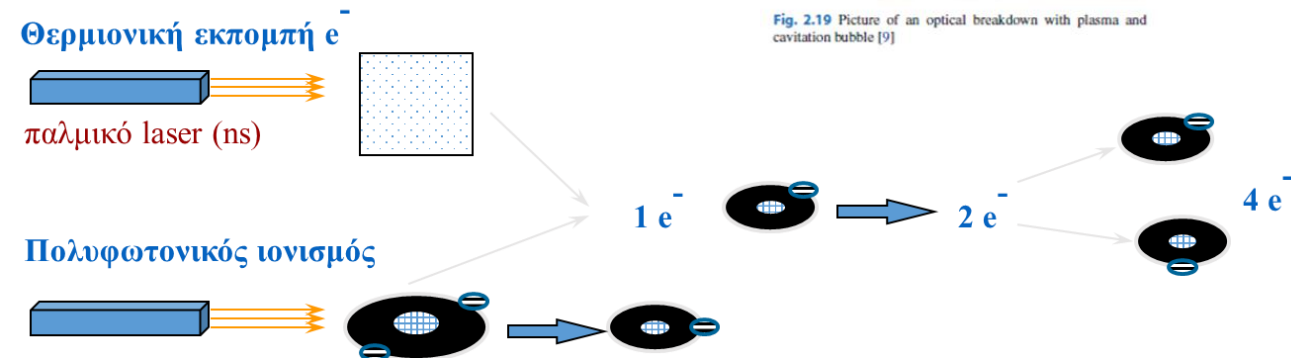
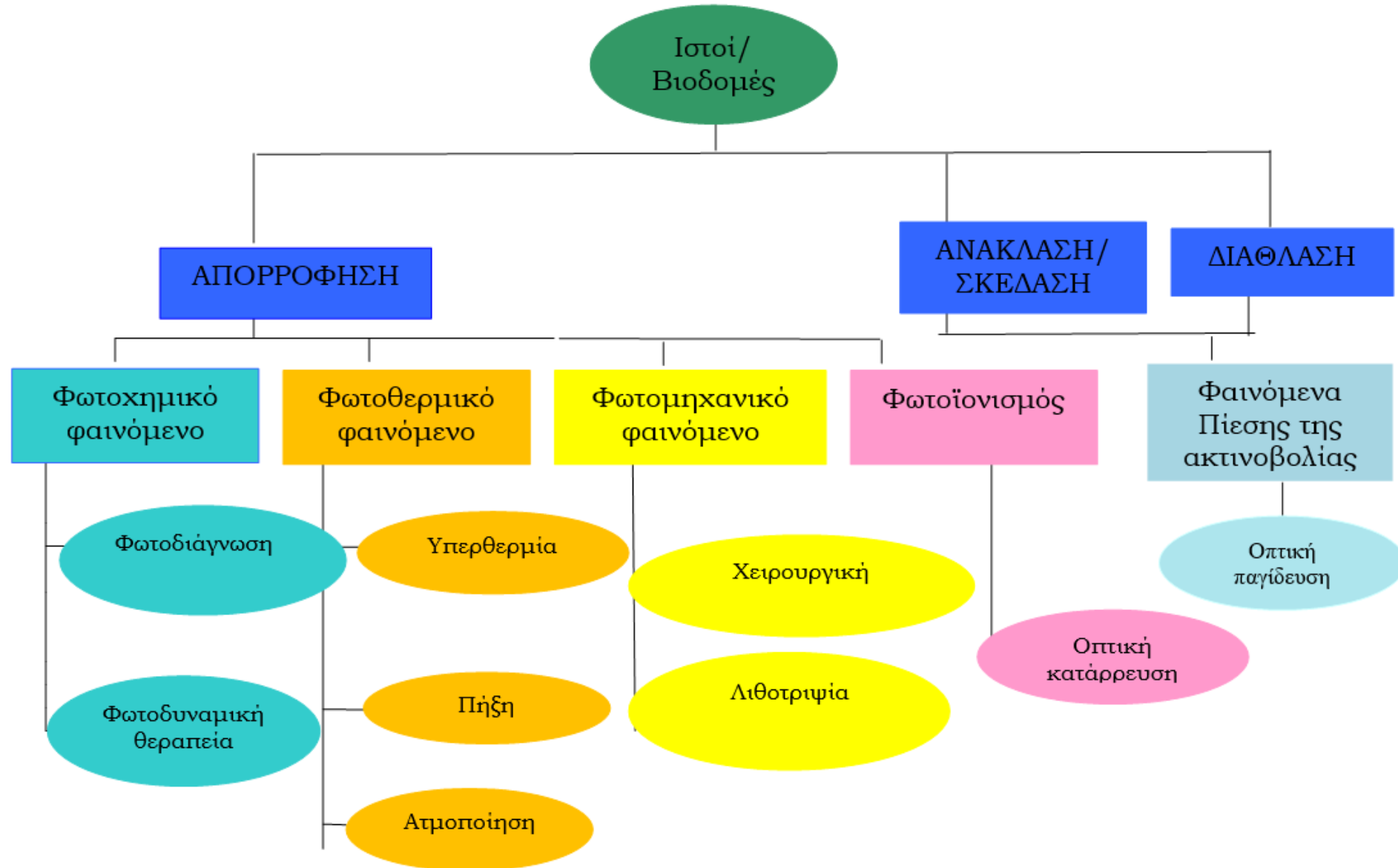


Fig. 2.19 Picture of an optical breakdown with plasma and cavitation bubble [9]

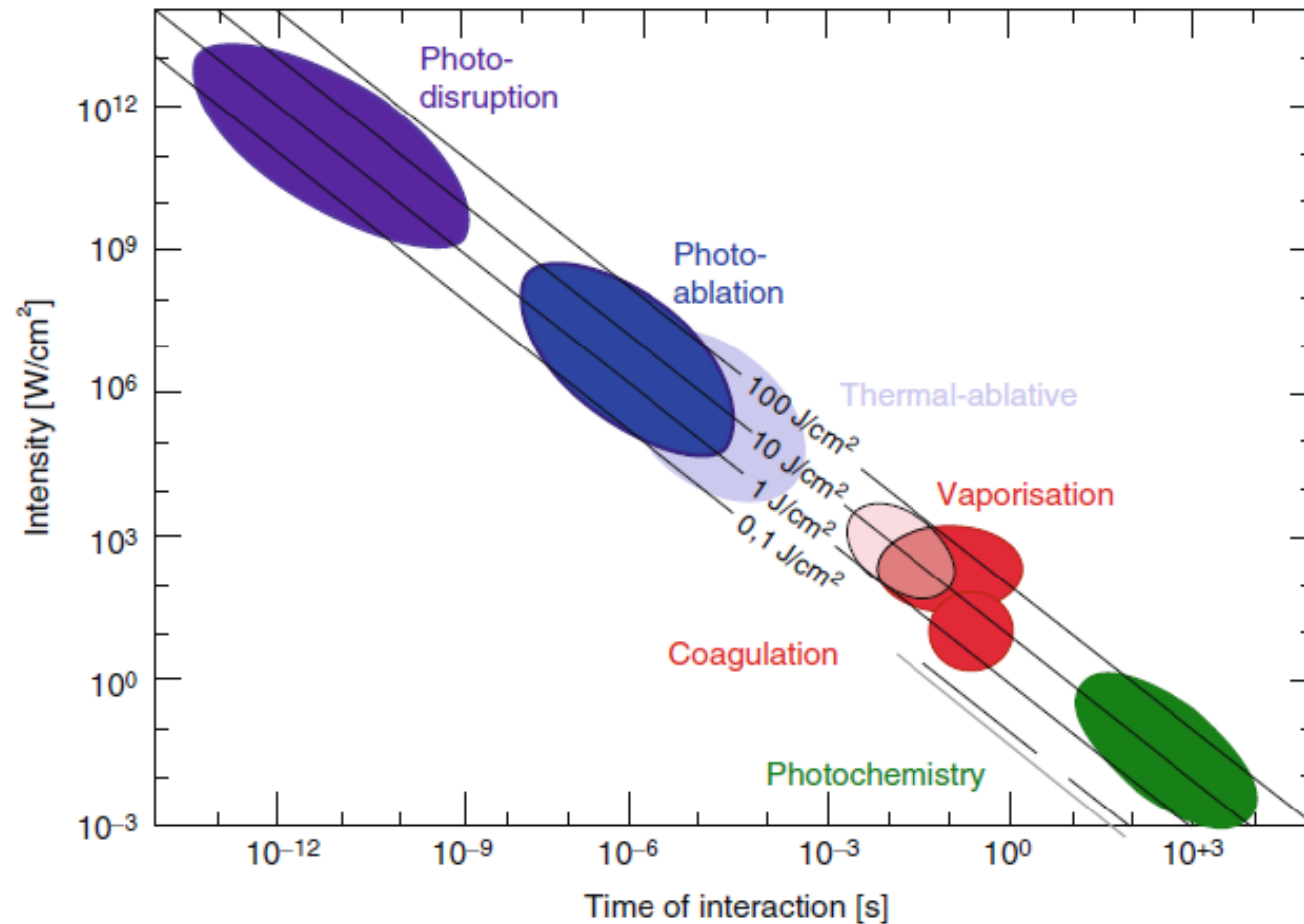


Βιοφυσικοί μηχανισμοί και εφαρμογές της ακτινοβολίας laser

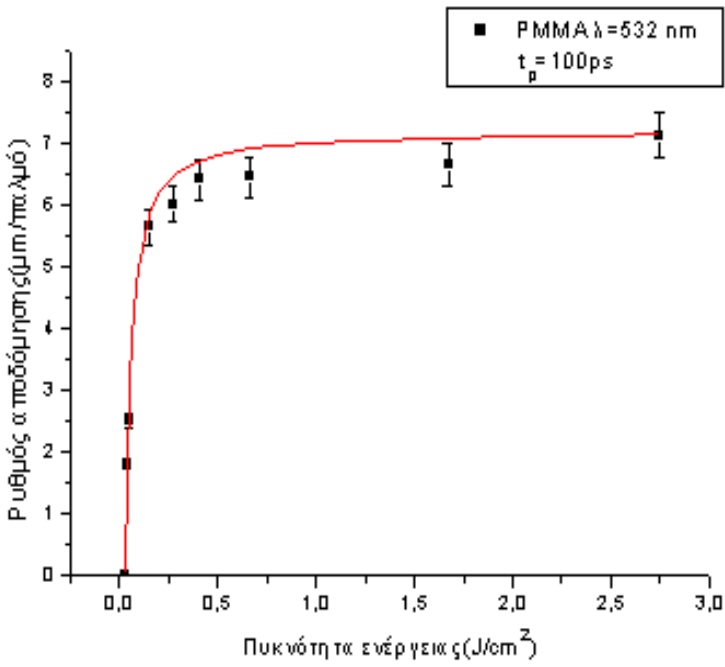


ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER ΣΕ ΒΙΟΔΟΜΕΣ

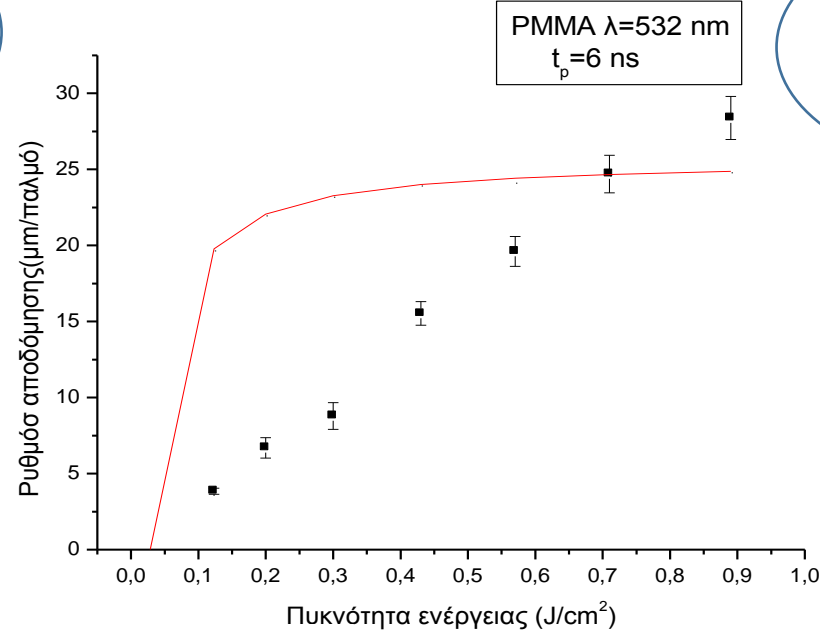
- Η πυκνότητα ισχύος ως συνάρτηση του χρόνου αλληλεπίδρασης (ή το εύρος του παλμού) για διάφορες βιοϊατρικές εφαρμογές των laser.



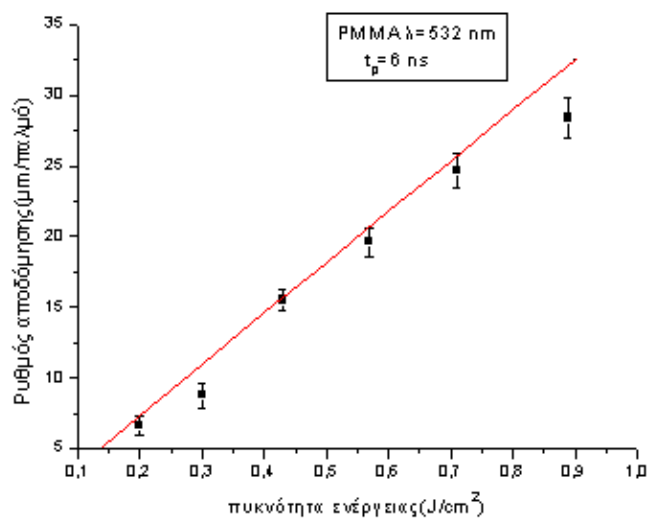
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER ΣΕ ΒΙΟΔΟΜΕΣ - Ο ρόλος της δοσιμετρίας ;



**Μοντέλο
Πολυφωτονικής
απορρόφησης**



~~**Φωτοχημικός
Μηχανισμός**~~

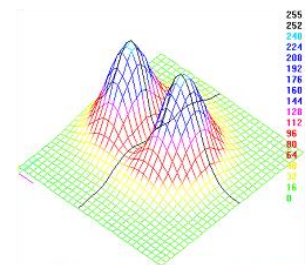
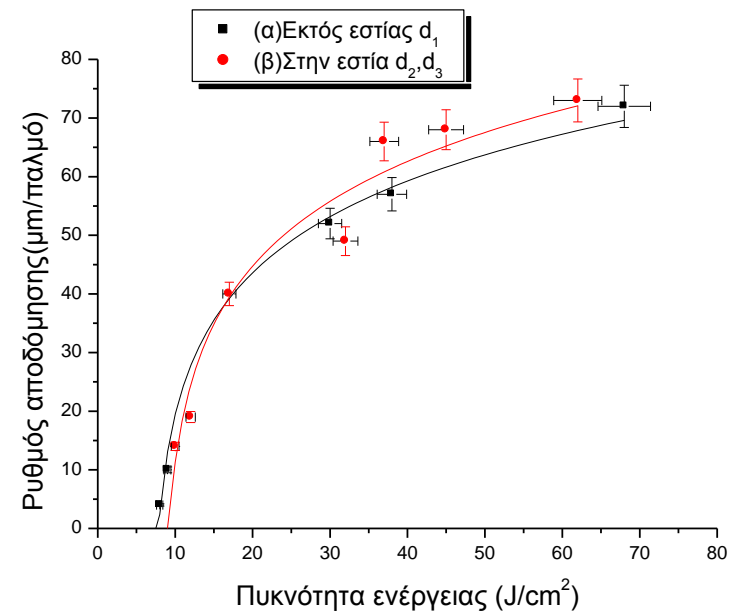
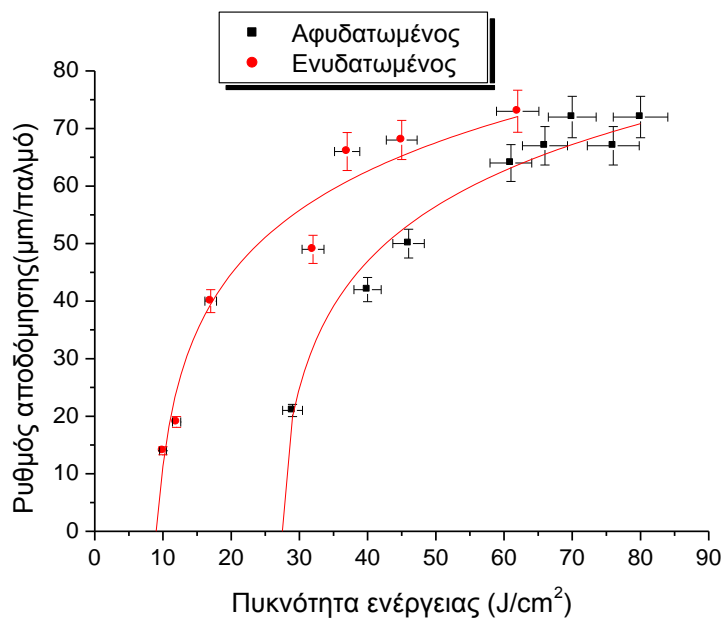


**Μοντέλο
φωτομηχανικού
Μηχανισμού**

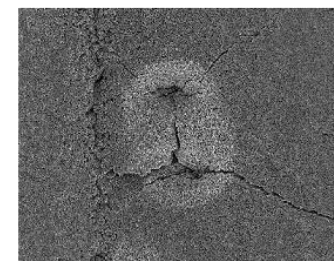
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER ΣΕ ΒΙΟΔΟΜΕΣ - ο ρόλος της δοσιμετρίας ;

Ιδιότητες του
ιστού

Φυσικοί
παράμετροι
δέσμης



3D beam profile at the output of the Q-switched Er:YAG laser.



Root dentin surface alteration by Q-switched Er:YAG laser ablation

Φωτοχημική
δράση

Φωτοθερμική
δράση

Φωτομηχανική
δράση

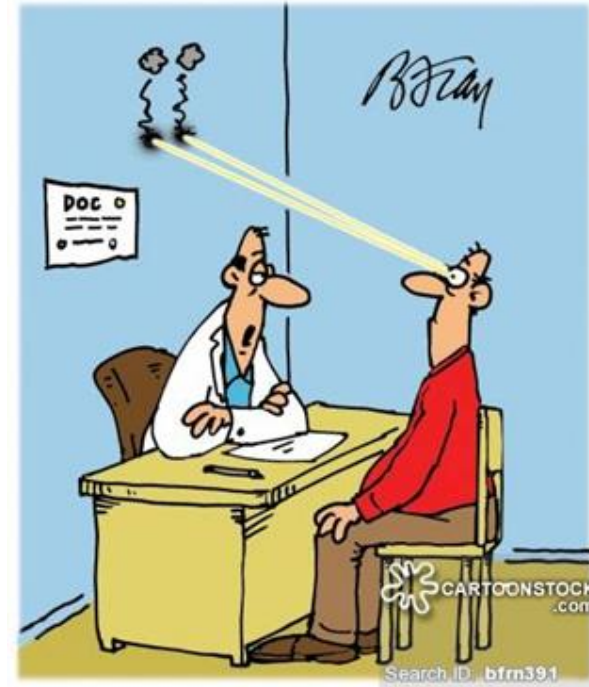
**Ανάγκη για ασφαλή
Βιοδοσιμετρία!!**

Φυσικές
παράμετροι
ακτινοβολίας

Οπτικές ιδιότητες
ιστού

Θερμικές
ιδιότητες ιστού

Μηχανικές
ιδιότητες ιστού



"WELL, YES, SOMETIMES THERE CAN BE
SIDE EFFECTS TO LASER EYE SURGERY!"

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “**Ιατρικά lasers: Επιστήμη και κλινική εφαρμογή**”, G. Carruth and A. McKenzie, μετάφραση, σύγχρονη ενημέρωση και επιμέλεια **Α.Α. Σεραφετινίδης και Μ.Ι. Μακροπούλου**, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1994.
2. http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=SEMFE1077
3. “**Biophysics of the photoablation process**”, G. Muller, K. Dorschel, H. Kar, *Lasers in Medical Science*, V.6, p. 241, 1991.
4. “**Role of tissue optics and pulse duration on tissue effects during high-power laser irradiation**”, S.L. Jaques, *Applied Optics*, V.32, p. 2447, 1993.
5. P.N. Prasad. **Introduction to Biophotonics**. Wiley Interscience Inc., New Jersey, (2003).
6. M S Patterson and S Jacques, **Laser-tissue interactions**, in **Handbook of Laser Technology and Applications** (C. Webb, ed.) Institute of Physics Publishing, Bristol, (2003).

Ευχαριστώ για την προσοχή σας