

10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

## Μελέτης της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας LASER με λιποσώματα μέσω της χρήσης οπτικών λαβίδων

Δήμητρα Νάτση<sup>1</sup>, Ελλάς Σπυράτου<sup>2</sup>, Γεώργιος Τσιγαρίδας<sup>1</sup>, Μυρσίνη Μακροπούλου<sup>1</sup> και Ευστάθιος Π  
Ευσταθόπουλος<sup>2</sup>

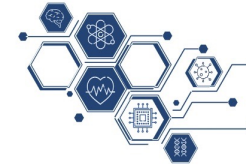
<sup>1</sup> Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα

<sup>2</sup> Β΄ Εργαστήριο Ακτινολογίας, Ιατρική Σχολή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα

Διοργανωτές

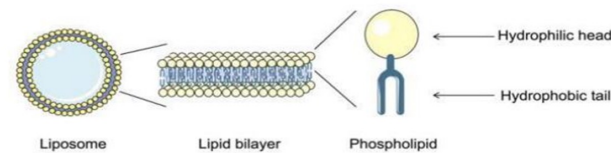
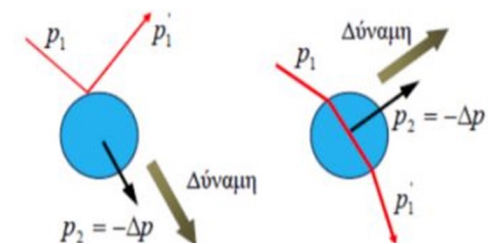
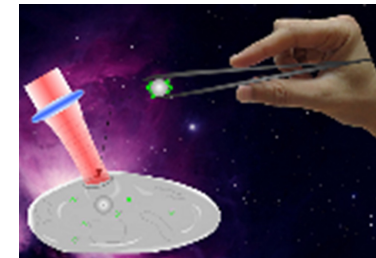


# 1. Εισαγωγή-Σκοπός

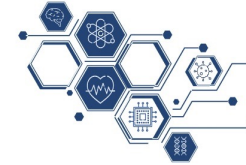


1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

- Οπτικές «παγίδες» (optical trapping-OT): Μη-επεμβατικά εργαλεία για το χειρισμό της θέσης, της κίνησης και της δυναμικής μικρο- και νανοσωματιδίων.
- Το φαινόμενο της OT βασίζεται στις δυνάμεις πίεσης που ασκεί η ακτινοβολία laser κατά την αλληλεπίδραση της με την ύλη μεταφέροντας ορμή σε αυτή.
- Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των παραμέτρων που επηρεάζουν την αποδοτικότητα και τις τιμές των οπτικών δυνάμεων της OT που ασκούνται πάνω στις μικρο-και νανο-δομές (λιποσώματα).

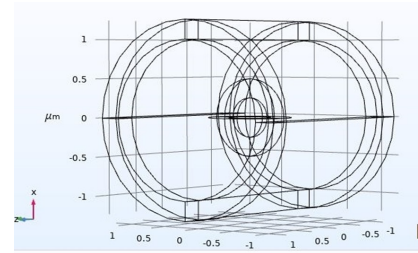
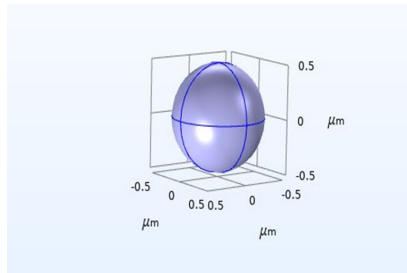


## 2. Μέθοδοι και Γλυκά



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

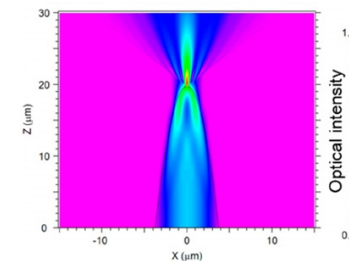
- Θεωρητικές προσομοιώσεις των οπτικών δυνάμεων  $F$  και της αποδοτικότητας  $Q$  της παγίδας με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος ComsolMultiphysics.



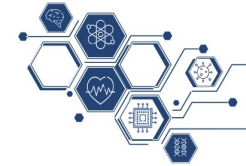
- Μελετήθηκε η εξάρτηση της  $Q$  και των  $F$  από 2 παραμέτρους: την ισχύς της δέσμης laser και την αδιάστατη παράμετρος  $a=R/w_{\text{παγ}}$ , (όπου  $R$  η ακτίνα των λιποσωμάτων και  $w_{\text{παγ}}$  η ακτίνα της γκαουσιανής δέσμης laser).

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot n_2^2 \cdot \text{Re} \left( (E_x \cdot n_x + E_y \cdot n_y + E_z \cdot n_z) \cdot \overline{E_x} \right) - \frac{1}{4} \cdot \epsilon_0 \cdot n_2^2 \cdot \|E\|^2 \cdot n_x$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot \text{Re} \left( (H_x \cdot n_x + H_y \cdot n_y + H_z \cdot n_z) \cdot \overline{H_x} \right) - \frac{1}{4} \cdot m_0 \cdot \|H\|^2 \cdot n_x$$



## 2. Μέθοδοι και Υλικά



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

- Μέτρηση των αντίστοιχων πειραματικών τιμών με τη μέθοδο της διηλεκτροφόρησης.

$$\vec{F}(\omega) = 2\pi\epsilon_m r^3 \operatorname{Re}(f_{CM}) \vec{\nabla} |E_{rms}|^2$$

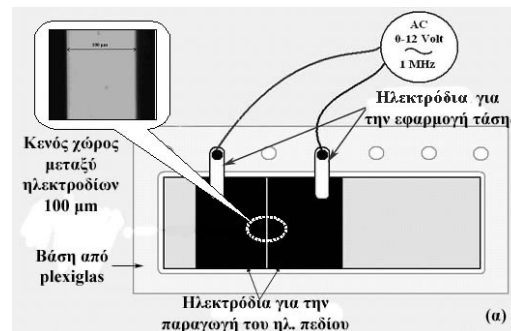
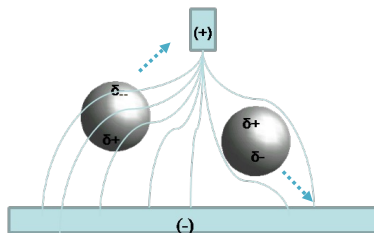
Δύναμη διηλεκτροφόρησης

$$f_{CM} = \left[ \frac{\epsilon_p^* - \epsilon_m^*}{\epsilon_p^* + 2\epsilon_m^*} \right]$$

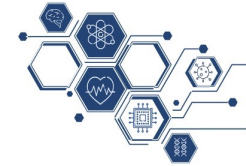
Παράγοντας Clausius-Mossotti

$$\epsilon^* = \epsilon - i(\sigma/\omega)$$

$$-1/2 < \operatorname{Re}(f_{CM}) < 1$$



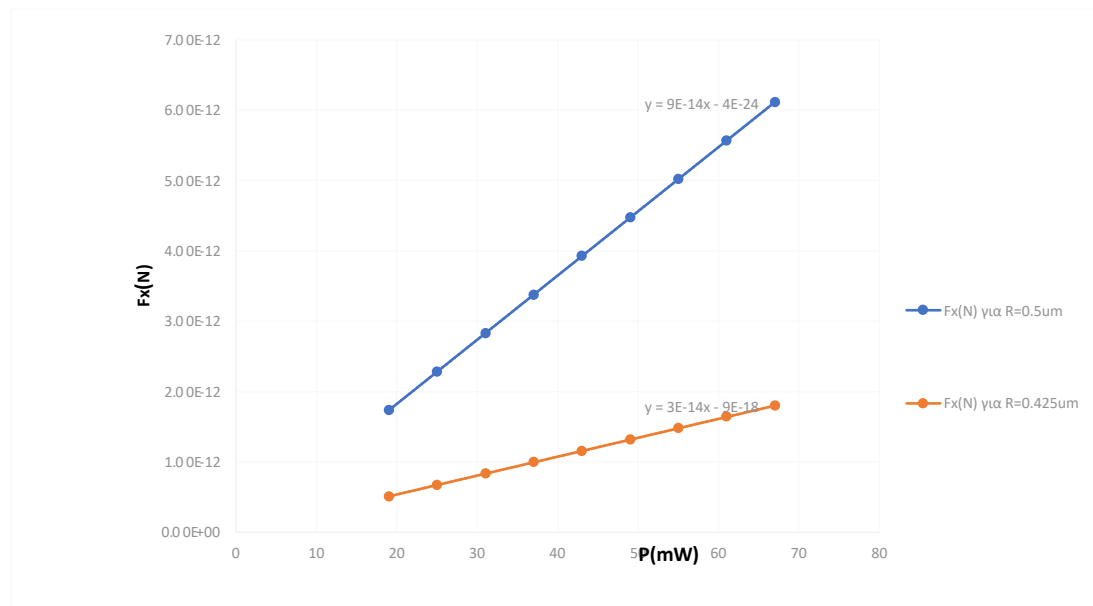
### 3. Αποτελέσματα



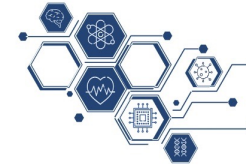
Από τη θεωρητική προσομοίωση στο comsol προέκυψαν:

- $Q=6,77 \cdot 10^{-3}$  και  $Q=20,30 \cdot 10^{-3}$  για ακτίνα  $R=0.425 \mu\text{m}$  και  $R=0.5 \mu\text{m}$  αντίστοιχα.

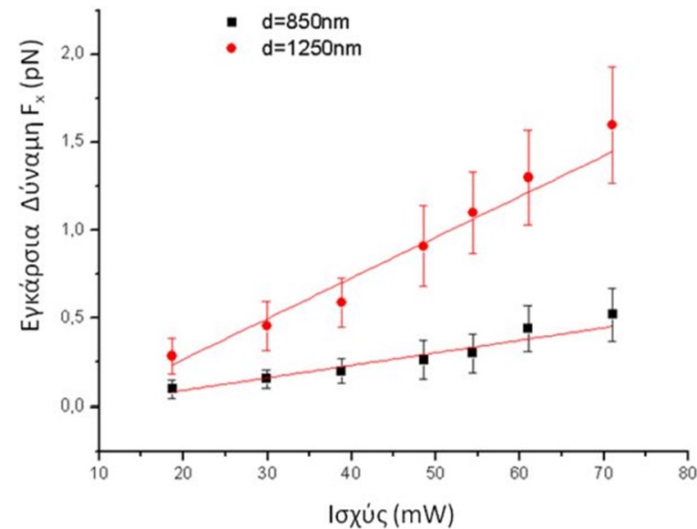
$$F = Q \frac{n_m P}{c}$$



### 3. Αποτελέσματα

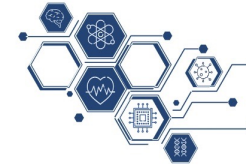


- Από το πείραμα της OT σε λιποσώματα, υπολογίστηκαν  $Q=1,8 \pm 0,2 \times 10^{-3}$  και  $Q=5,7 \pm 0,5 \times 10^{-3}$  για τις ίδιες αντίστοιχα R λιποσώματος.



- Η θεωρητική συμπεριφορά της εγκάρσιας δύναμης συναρτήσει της  $d$  των λιποσωμάτων ήταν ίδια με αυτή που προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις.

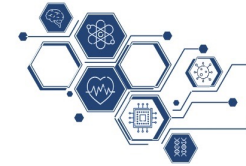
## 4. Συμπεράσματα



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

- Τα αποτελέσματα της θεωρητικής προσομοίωσης δίνουν μεγαλύτερες αποδοτικότητες σε σχέση με το πείραμα.
- Αυτό αποδίδεται στο ότι οι σφαιρικές εκτροπές μειώνουν την  $Q$  της ΟΤ και όσο η απόσταση της εστίας της δέσμης από την καλυπτρίδα μεγαλώνει, τόσο αυξάνονται οι σφαιρικές εκτροπές και οι οπτικές δυνάμεις, μειώνονται.
- Μέσω της δέσμης laser μπορεί να γίνει στοχευμένη μετακίνηση του λιποσώματος σε κύτταρα-στόχους μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Συνεπώς είναι σημαντικό να μελετηθεί ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων ώστε να δημιουργείται η πιο αποδοτική ΟΤ.

## 5. Βιβλιογραφία



1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικών Επιστημών στην Υγεία:  
Καινοτομίες και Προοπτικές  
22-23 Σεπτεμβρίου 2023

1. Xin Hongbao, Yuchao Li, Yong-Chun Liu, Yao Zhang, Yun-Feng Xiao and Baojun Li, “Optical Forces: From Fundamental to Biological Applications”, *Adv. Mater.* 2001994, (2020).
2. Τσουνάϊ Ε., “Βαθμονόμηση οπτικής παγίδας μέσω διηλεκτροφόρησης και μέτρηση ελαστικών ιδιοτήτων σε λιποσώματα”, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ.Π., Αθήνα (2012).
3. Κρομμύδας Ν., ‘Βελτιστοποίηση των Δυνάμεων Οπτικής Παγίδευσης με χρήση μικροδομημένων υποστρωμάτων’, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ.Π., Αθήνα (2018)
4. Yu L, Sheng Y and Chiou A 2013 *Opt. Express* **21** 12174–84