

**Σεμινάριο πρωτοετών φοιτητών
19 Ιανουαρίου 2022**

Τομέας Α: Τομέας Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης

**Δ. Σταμόπουλος
Αν. Καθηγητής**

2000 ... Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης



ΦΥΣΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2000

2022 ... Τομέας Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης



Τομέας Α: Τομέας Φυσικής Συμπυκνωμένης Ύλης



Γραμματέας
Τσαλπατούρου Αγγελική

Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό

Γαρδέλης Σπύρος, Αν. Καθηγητής
Λελίδης Γιάννης, Αν. Καθηγητής
Λυκοδήμος Βλάσης, Αν. Καθηγητής
Μανουσάκης Ευστράτιος, Καθηγητής
Μαυρόπουλος Φοίβος, Καθηγητής
Παπαθανασίου Αντώνης, Επ. Καθηγητής
Σαρλής Νικόλαος, Καθηγητής
Σιμσερίδης Κώστας, Αν. Καθηγητής
Σκορδάς Ευθύμιος, Αν. Καθηγητής
Σταμόπουλος Δημοσθένης, Αν. Καθηγητής
Στεφάνου Νίκος, Καθηγητής
Τσακμακίδης Κοσμάς, Επ. Καθηγητής
Φραντζεσκάκης Δημήτρης, Καθηγητής

Εργαστηριακό Διδακτικό & Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό



Γιαννούρη Μαρία



Δημητρόπουλος Βασίλειος



Κύρκος Χρήστος



Λαμπιθιανάκης Γεώργιος



Τζίγκος Σπύρος



Τσέτσερη Μαρία



Φιλιππούλου Αναστασία



Γαρδέλης Σπύρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Νανοδομές ημιαγωγών για εφαρμογές στη νανοηλεκτρονική, φωτονική και σε ηλιακές κυψελίδες
 - Σπιντρονική
 - Φαινόμενα μεταφοράς σε χαμηλοδιάστατους ημιαγωγούς
- Χαρακτηρισμός διατάξεων μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS)

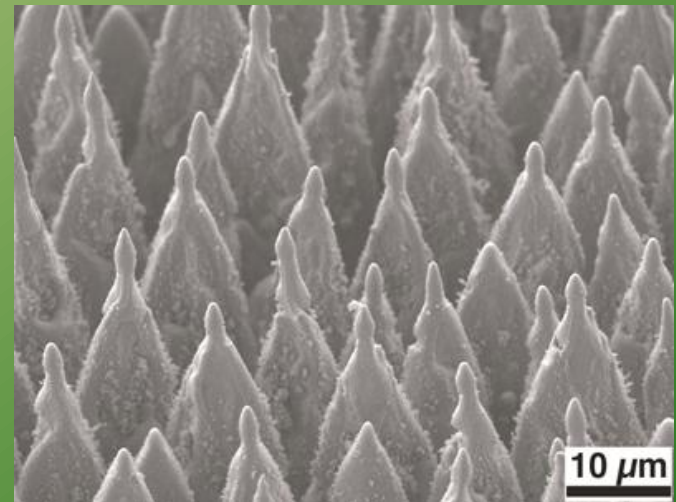
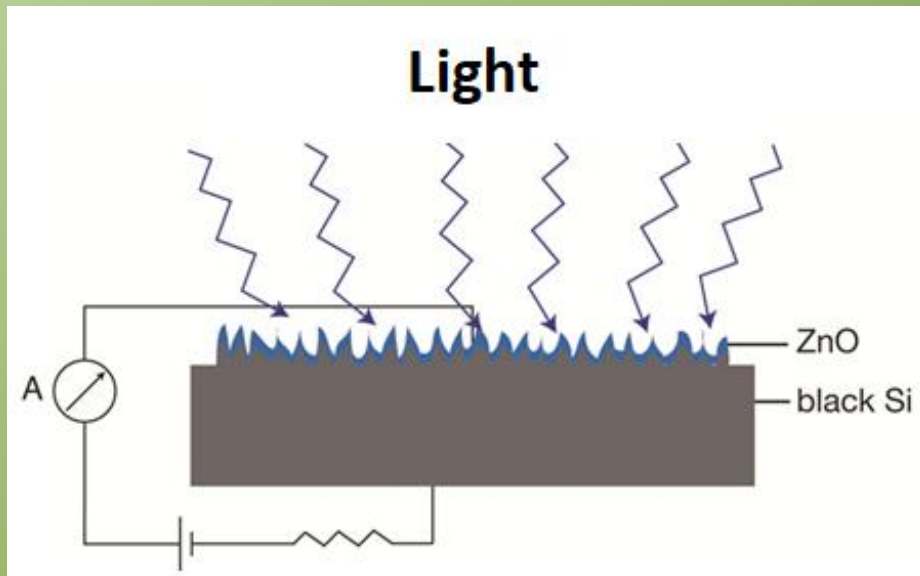
Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια

- Φυσική IV (10ΥΚΟ04, Θεωρία)
- Φυσική Ημιαγωγικών Διατάξεων (10ΕΚ512, Θεωρία)
- Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΥΚ502, Θεωρία)
- Εργαστήριο Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΕΚΑ01, Εργαστήριο)

Μελέτη της απόκρισης φωτοδιόδου οξειδίου του ψευδαργύρου σε μικροδομημένο και επίπεδο υπόστρωμα πυριτίου (ZnO/Si)

Ετεροεπαφές ZnO/Si:

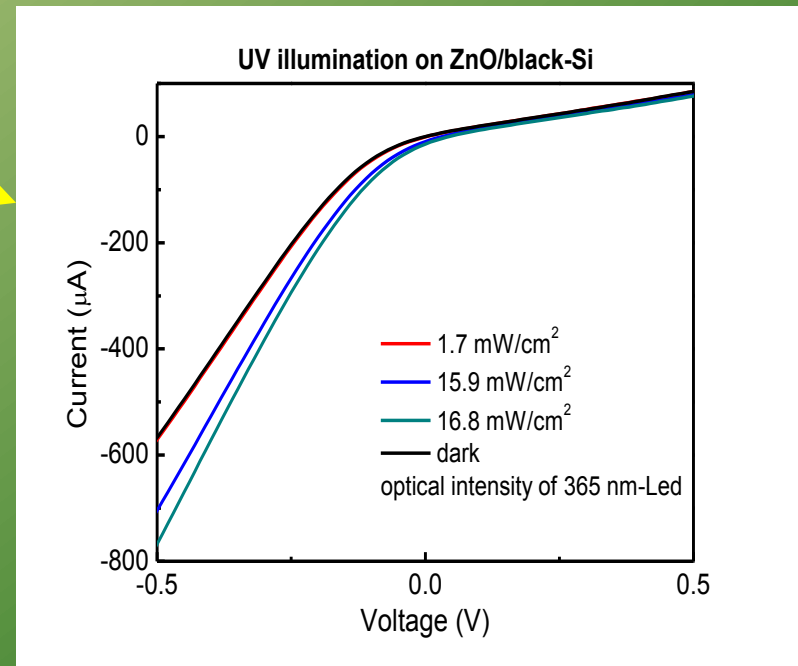
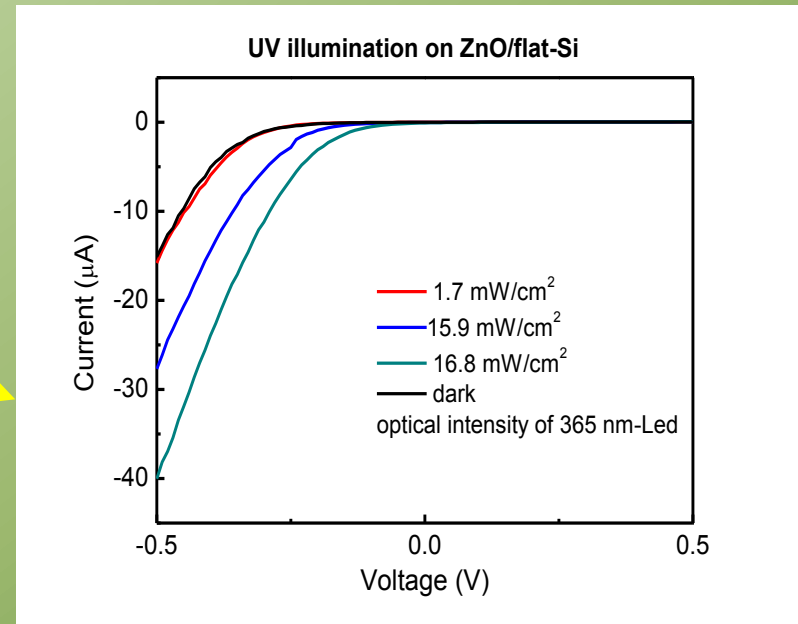
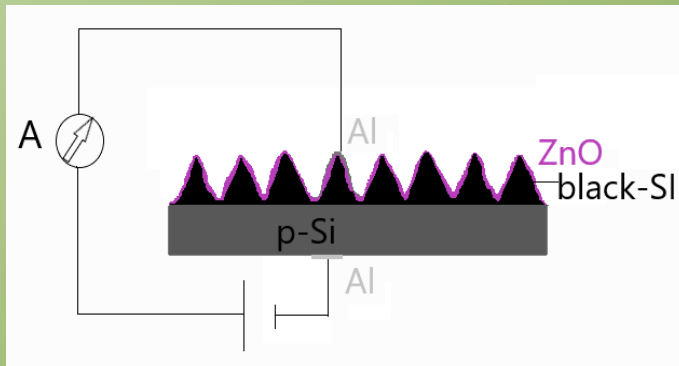
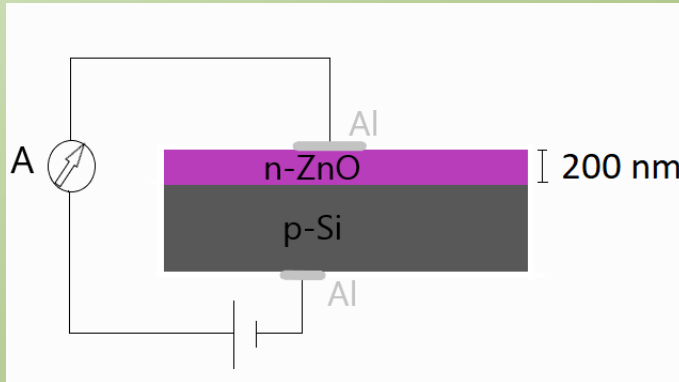
- Ανιχνευτές υπεριώδους και ορατής ακτινοβολίας.
- **Ιδέα:** Αύξηση της ειδικής επιφάνειας της ετεροεπαφής n-ZnO/p-Si μέσω μικροδόμησης του υποστρώματος πυριτίου με laser.
- **Στόχος:** Δημιουργία φωτοανιχνευτών με βελτιωμένη απόκριση σε όλο το φάσμα Η/Μ ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης της υπεριώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Δίκτυο μικροακίδων

Ηλεκτρικές μετρήσεις σε συνθήκες σκότους και φωτισμού

Ανάπτυξη λεπτού υμενίου ZnO με τη μέθοδο ALD (Atomic Layer Deposition)



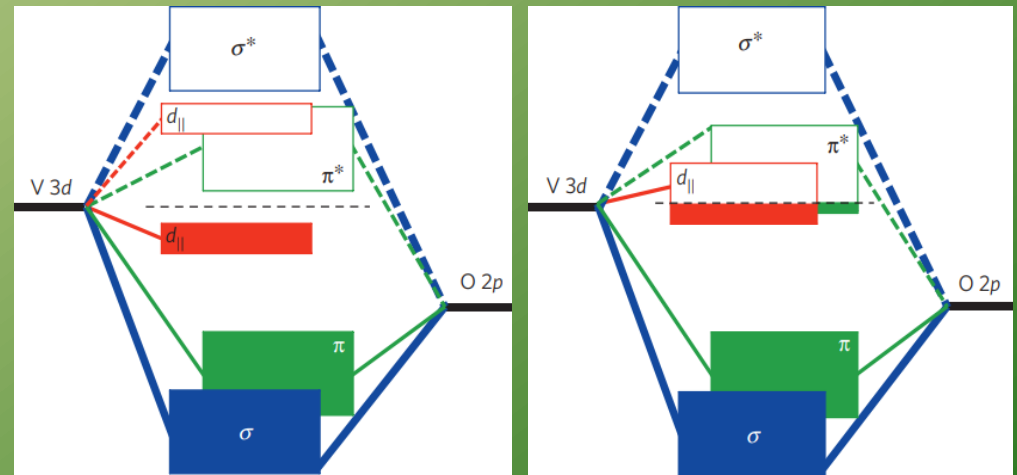
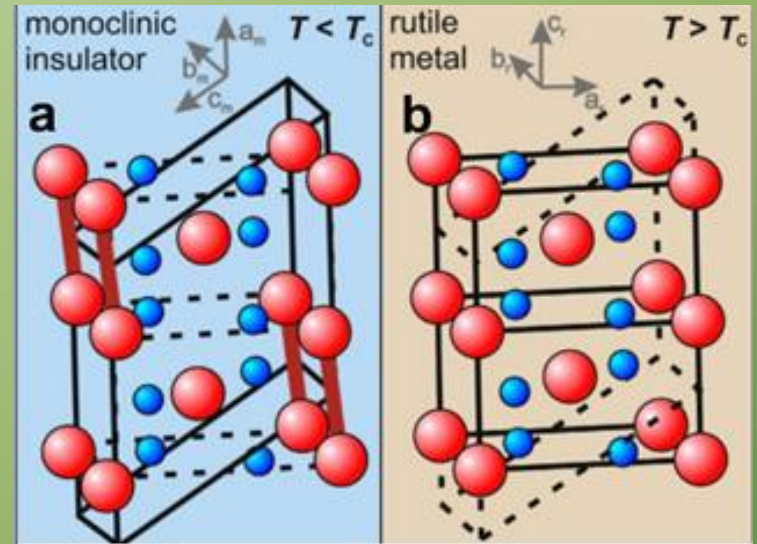
- Ανίχνευση υπεριώδους ακτινοβολίας και από τις δύο διατάξεις σε συνθήκες ανάστροφης πόλωσης.
- Μεγαλύτερες τιμές φωτορεύματος για το δείγμα ZnO/νανοδομημένο-Si.

Μελέτη των ηλεκτρικών & οπτικών ιδιοτήτων του VO_2 στη θερμοκρασιακή περιοχή μετάβασης μονωτή-μέταλλου

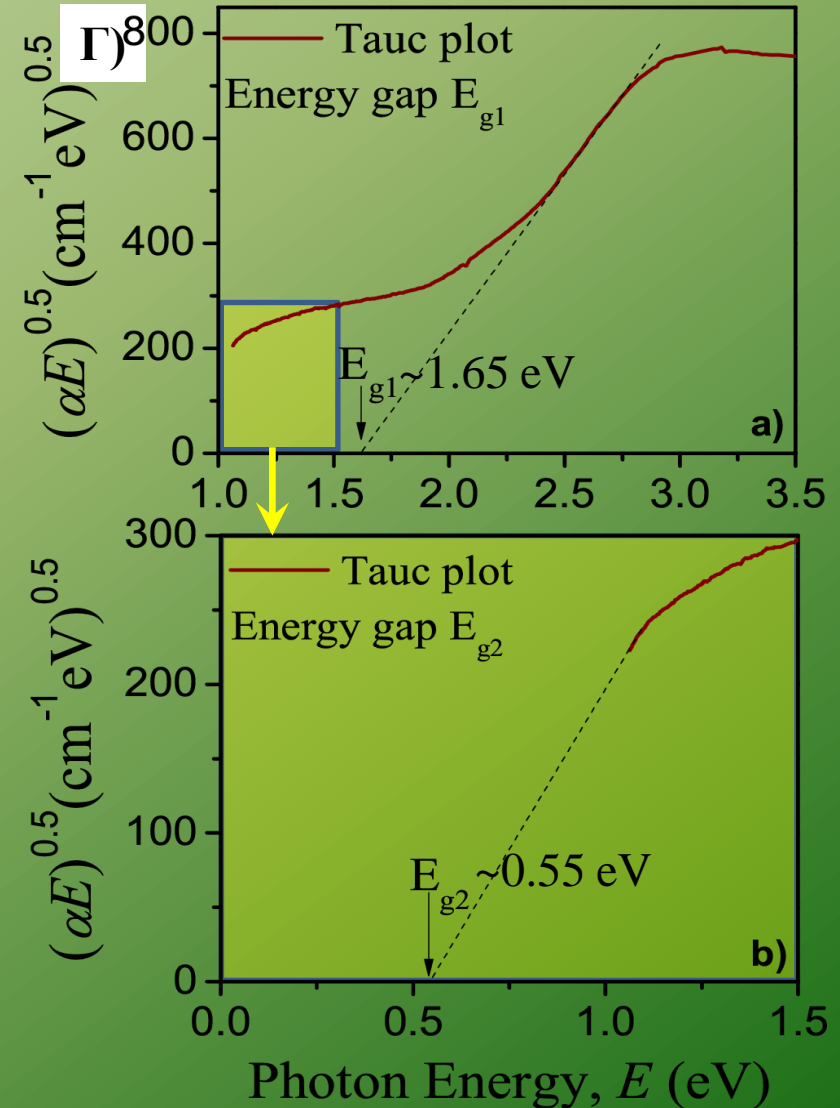
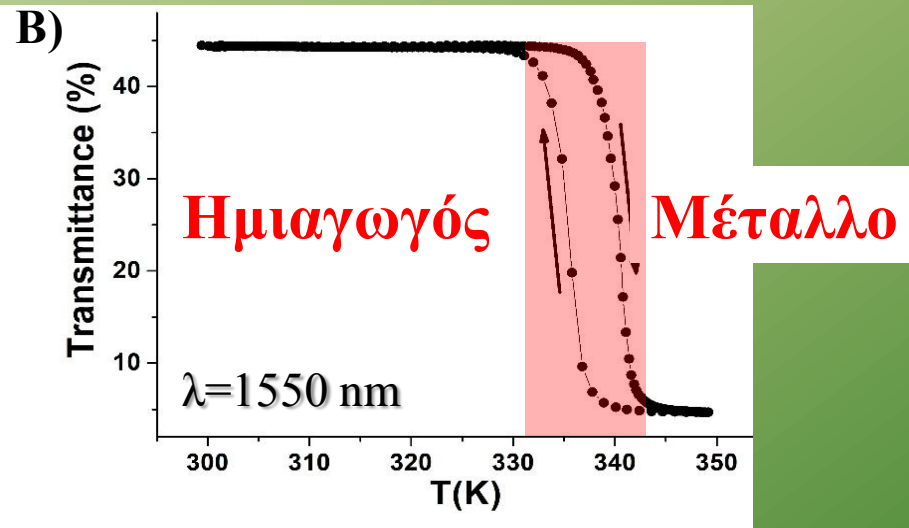
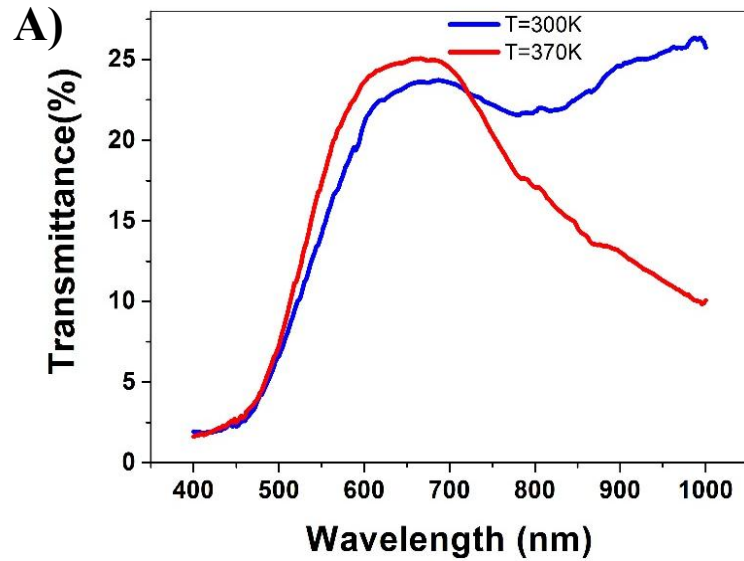
- Το VO_2 είναι ημιαγωγός με μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία κάτω από τους 340 K, όπου η κρυσταλλική του δομή είναι μονοκλινής. Πάνω από τους 340 K είναι μέταλλο και η αντίστασή του μειώνεται σημαντικά.

- Στο ενεργειακό διάγραμμα φαίνεται ότι μεταξύ των ενεργειακών ζωνών π^* (άδεια από ηλεκτρόνια) και d_{\parallel} (η οποία είναι πλήρης από ηλεκτρόνια) υπάρχει χάσμα όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 340 K, ενώ πάνω από αυτή οι δύο ζώνες επικαλύπτονται με αποτέλεσμα την αγωγή/μεταλλική συμπεριφορά.

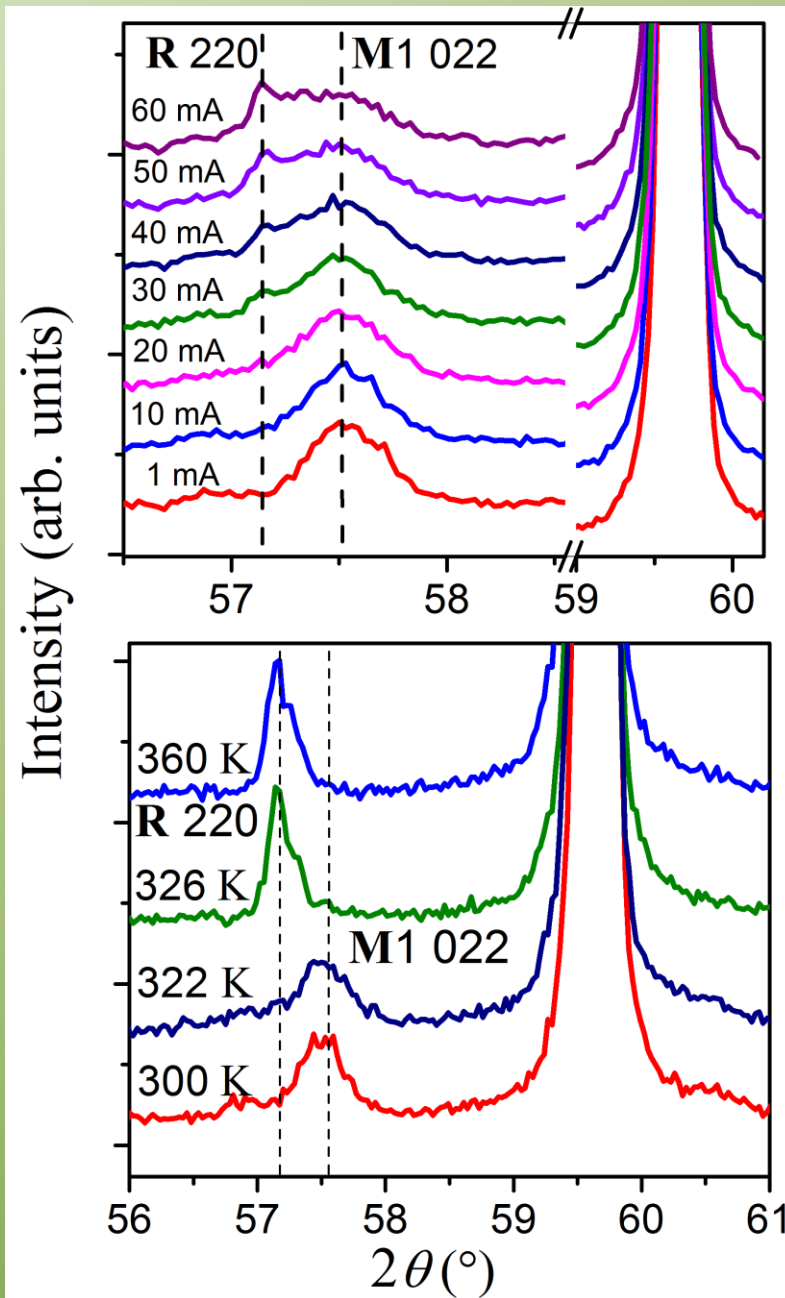
- Συνέπεια της μεταλλικής συμπεριφοράς πάνω από τους 340 K είναι και η σημαντική αύξηση στην ανάκλαση του υλικού της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο και επομένως μείωση της οπτικής διέλευσης.



Παρασκευή δειγμάτων VO_2 σε μορφή δισκίων-Οπτικές ιδιότητες



Δομική μετάβαση VO_2 στην περιοχή μετάβασης μετάλλου-μονωτή



Μετρήσεις XRD σε θερμοκρασία δωματίου δείχνουν την μετάβαση από τη μονοκλινή M1 (μονωτική συμπεριφορά) στη φάση ρουτιλίου R (μεταλλική συμπεριφορά) υπό την επίδραση ρεύματος – φαινόμενο αυτοθέρμανσης Joule.

Μετρήσεις XRD με συστηματική μεταβολή της θερμοκρασίας στην περιοχή της μετάβασης μονωτή-μετάλλου.



Δελίδης Γιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

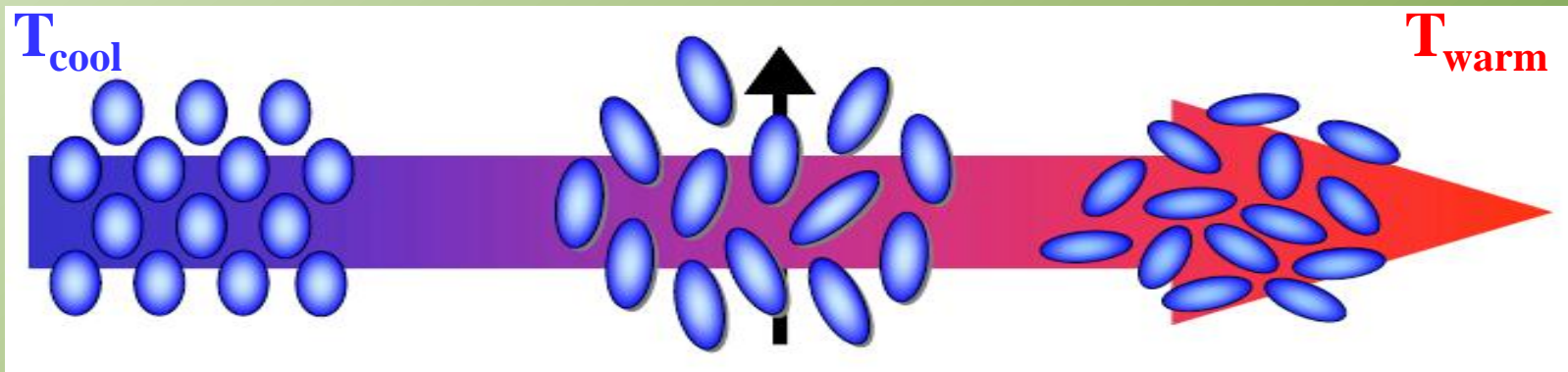
Περιοχές έρευνας

- Μεταβάσεις φάσης και κρίσιμα φαινόμενα
 - Υγροί κρύσταλλοι
 - Διεπιφανειακά φαινόμενα
- Υβριδικά συστήματα και πολύπλοκα συστήματα

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Καταστάσεις και Ιδιότητες της Ύλης (10ΕΛΕ05, Θεωρία)**
- **Φυσική Χαλαρής Ύλης (10ΕΚ503, Θεωρία)**
- Στατιστική Φυσική II (10ΕΚΟ04, Θεωρία)

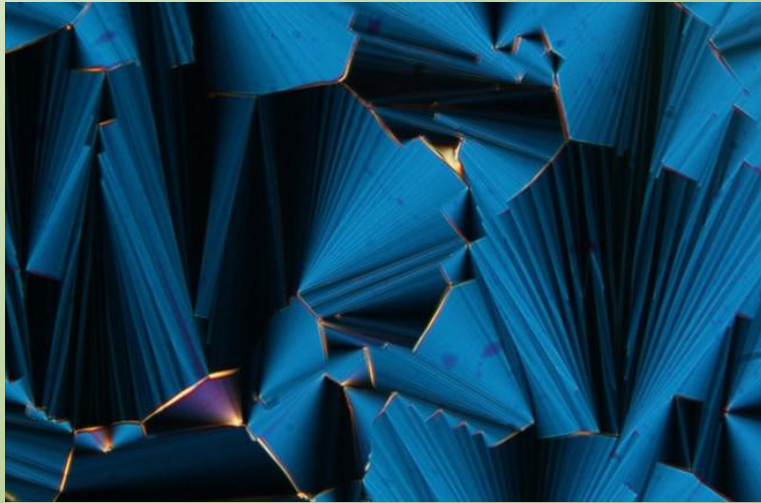
Υγροί Κρύσταλλοι ή Μεσοφάσεις



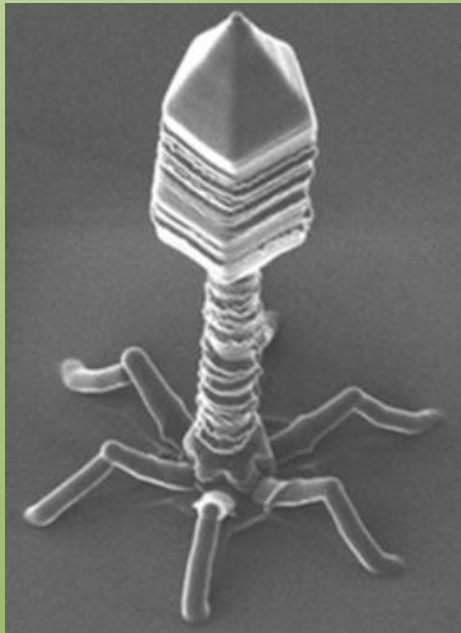
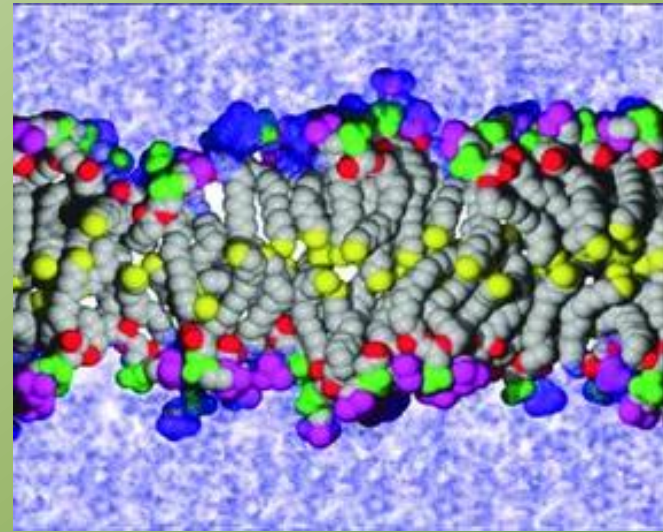
- Ρέουν εύκολα όπως τα υγρά
- Έχουν ανισοτροπικές φυσικές ιδιότητες: ελαστικότητα, διηλεκτρική σταθερά, διπλοθλαστικότητα, κτλ
- **Ισχυρή απόκριση σε μικρά ερεθίσματα**

Υγροί κρύσταλλοι στη φύση

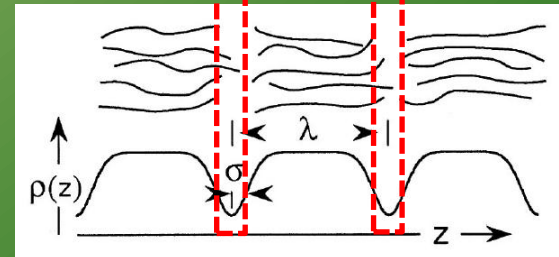
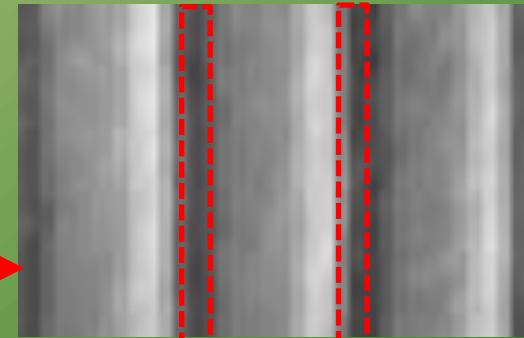
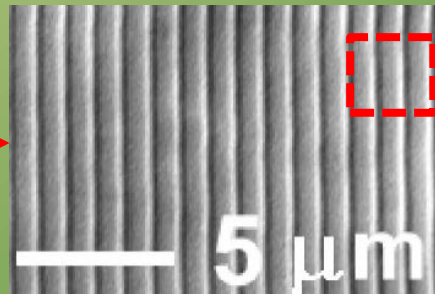
ΥΚ-DNA



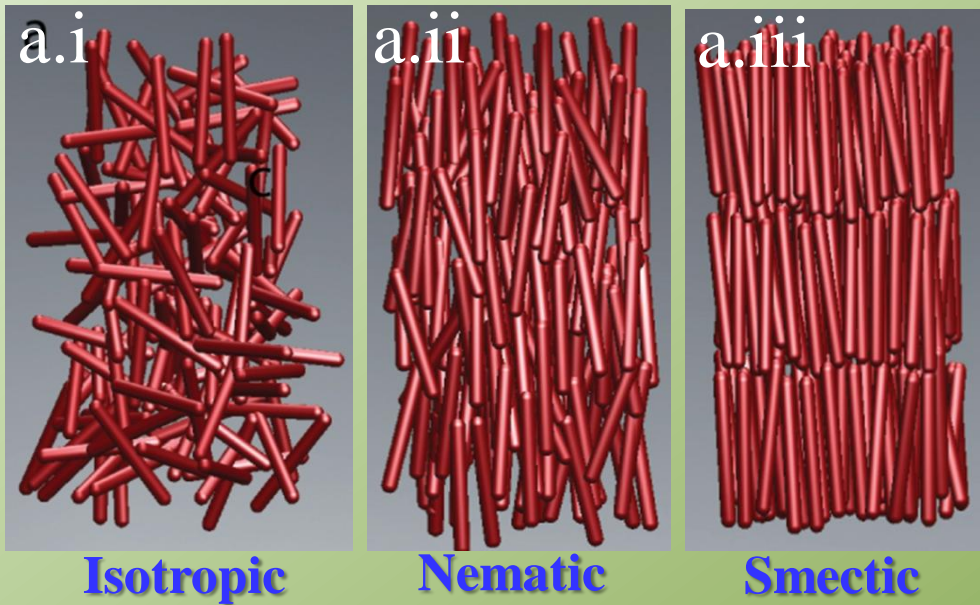
ΥΚ-Κυτταρική μεμβράνη



*Βακτηριοφάγοι
σχηματίζουν
σμηγματική φάση*



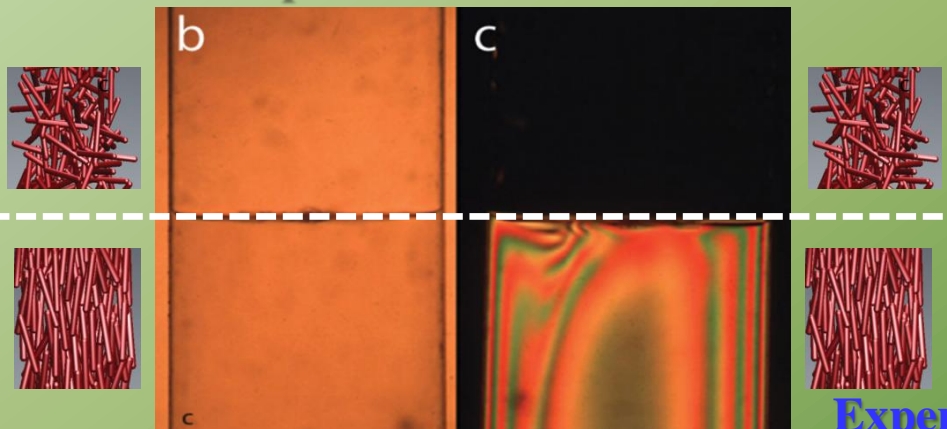
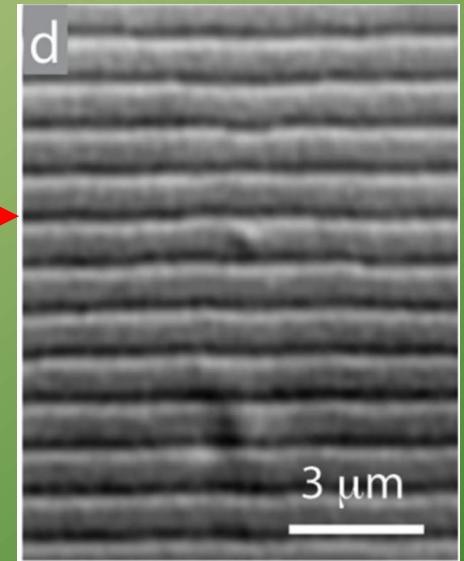
Υγροί κρύσταλλοι **ιών**: παραδείγματα διαφορετικών φάσεων



Schematic illustrations

(a.i)-(a.iii) Common liquid crystalline phases observed in colloidal suspension of rod-like viruses.

Experimental results

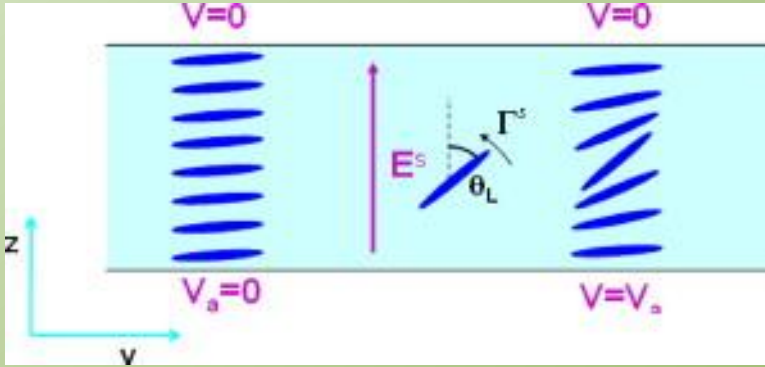


Experimental results

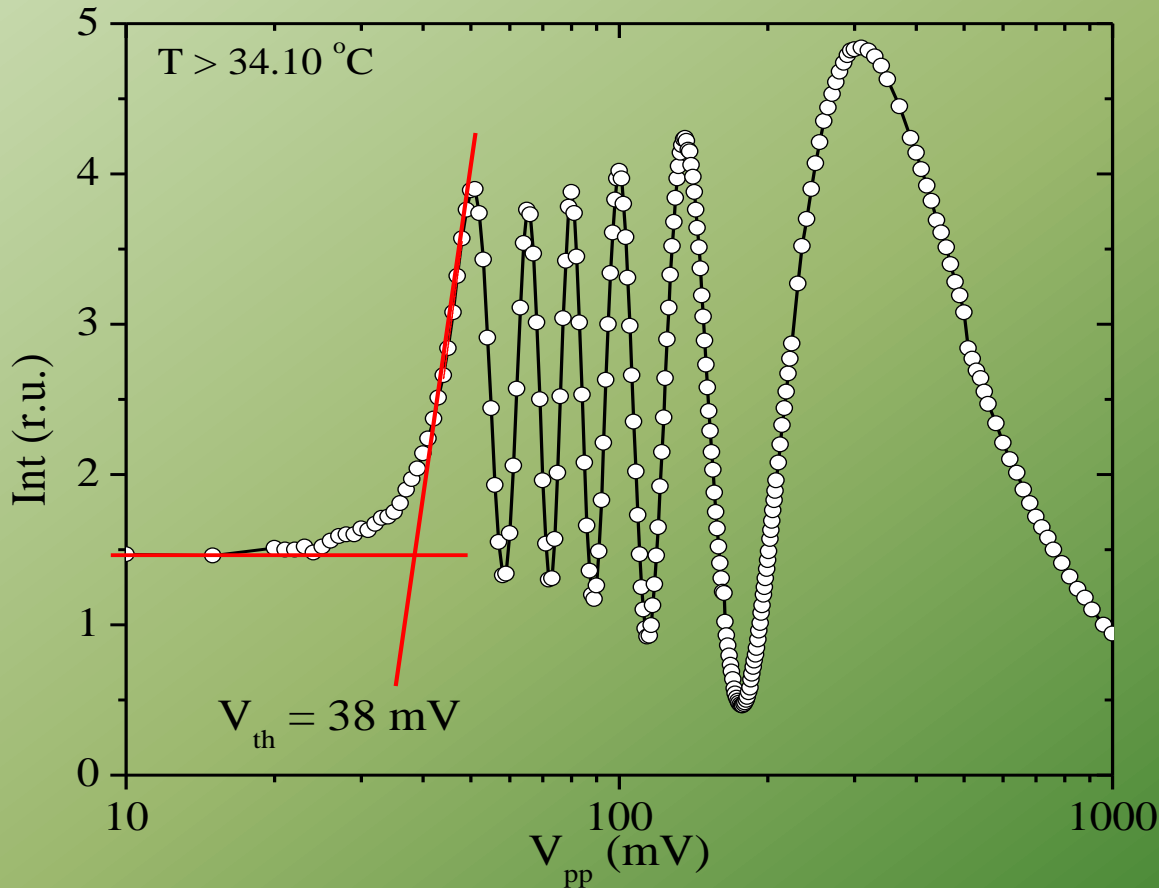
(b) With increasing concentrations a suspension of Tobacco Mosaic Virus particles exhibits coexistence between an isotropic and a nematic phase. (c) Image of the same coexisting isotropic-nematic sample viewed under cross-polarizers. The birefringent nematic phase with higher density sediments to the bottom.

(d) At high concentrations filamentous viruses form a smectic phase. High-resolution differential interference contrast (DIC) microscopy allows for direct visualization of one-rod-length long smectic layers.

Ηλεκτροοπτικές Μετρήσεις (HOM)

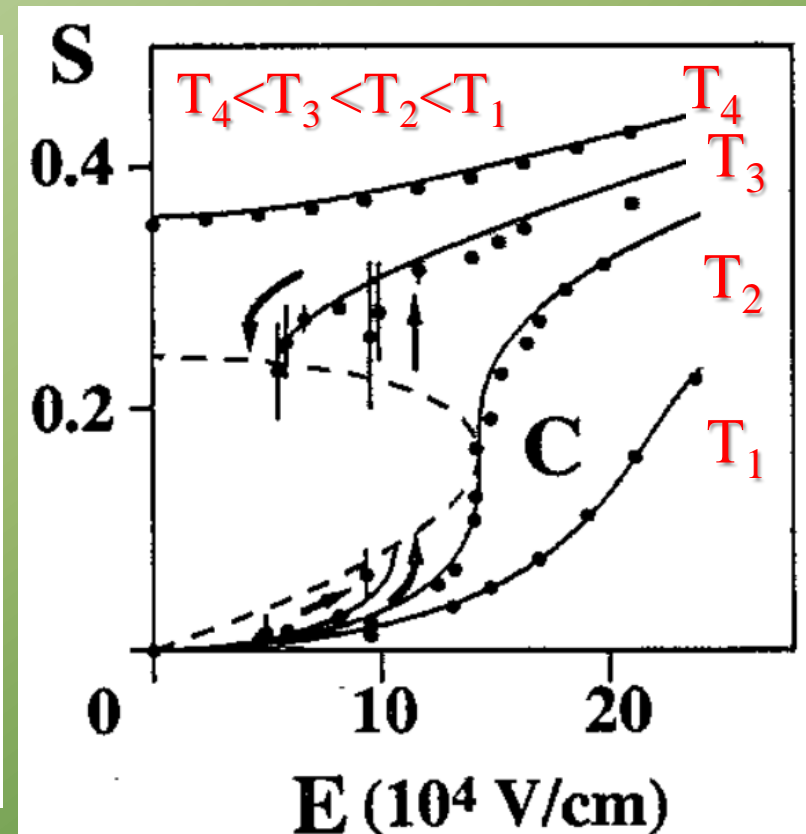
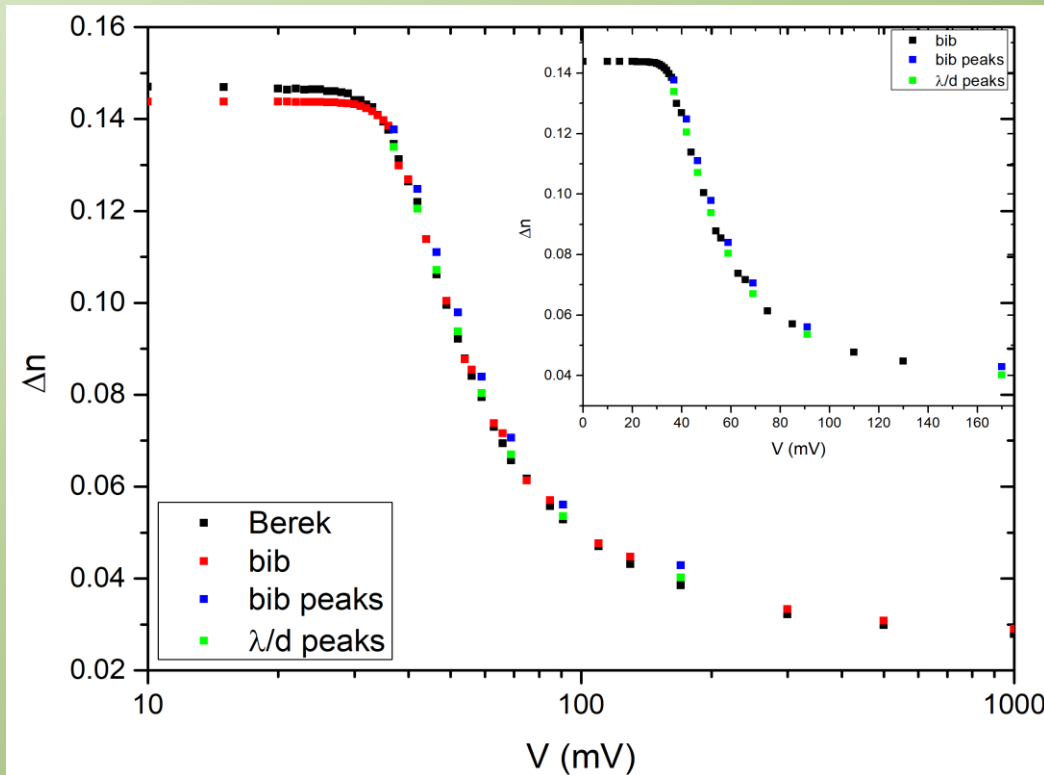


Κατώφλι της μετάβασης
προσανατολισμού V_{th}



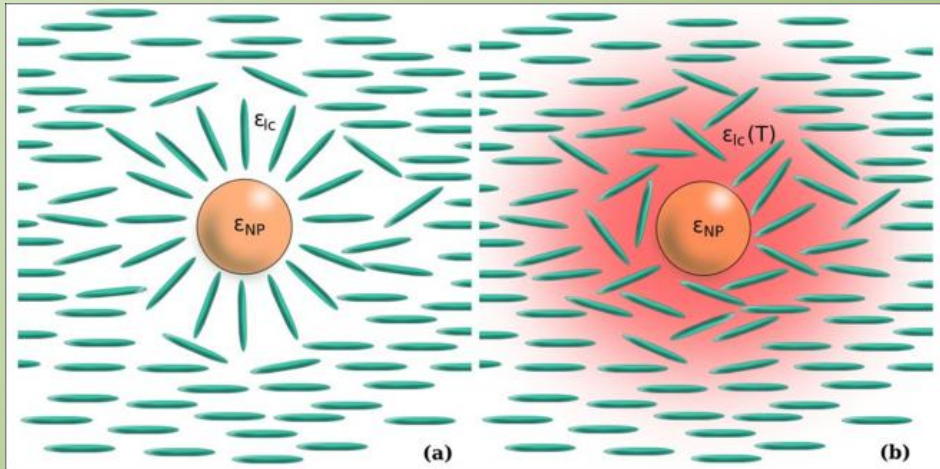
Οι HOM μας δίνουν:
1) την τάση κατωφλίου V_{th}
2) τους χρόνους απόκρισης
και εφησυχασμού

Αλλαγές φάσης επαγόμενες από ηλεκτρικό πεδίο

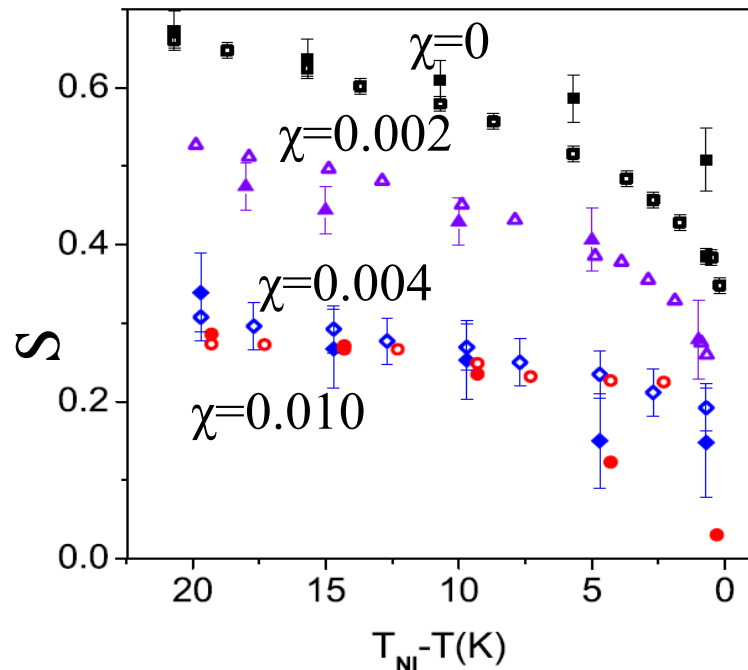


Εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο, E , μπορώ να αυξομειώσω τη διπλοθλαστικότητα (αριστερό σχήμα) καθώς και να αυξήσω την π.τ. S σε σημείο που να επάγω αλλαγές φάσης (δεξιό σχήμα)

Υγροκρυσταλλικά νανοσύνθετα υλικά: υγροί κρύσταλλοι με νανοσωματίδια (ΝΣ)



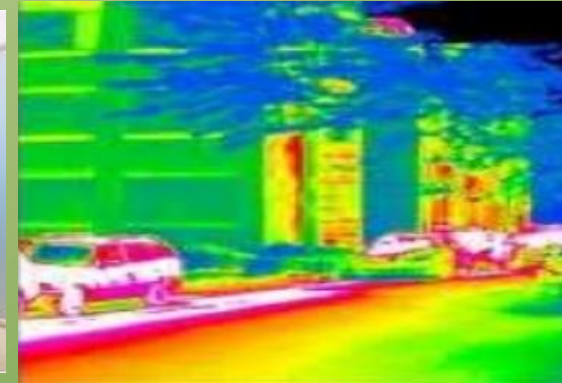
Τα νανοσωματίδια επιδρούν ποικιλοτρόπως (θετικά ή αρνητικά), τοπικά στον προσανατολισμό των μεσογόνων μορίων με αποτέλεσμα να μεταβάλλουν τις σχετικές φυσικές ιδιότητες



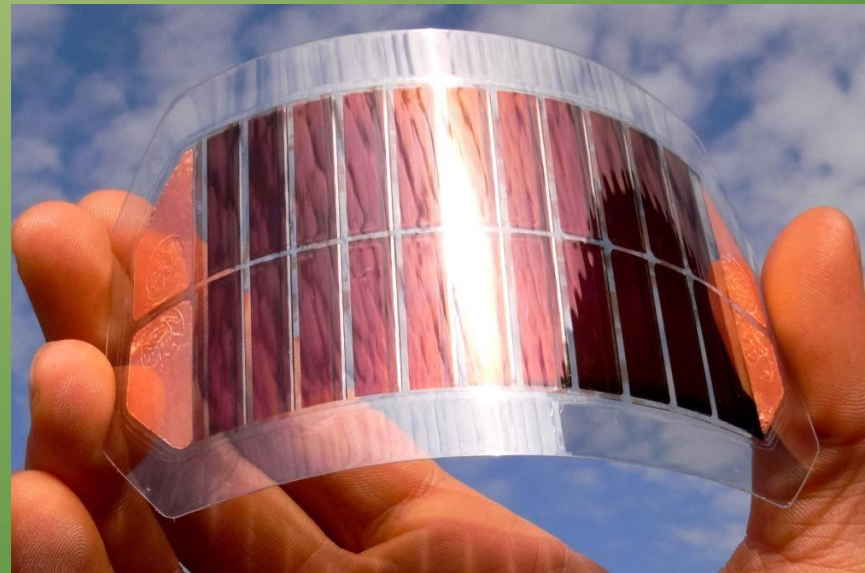
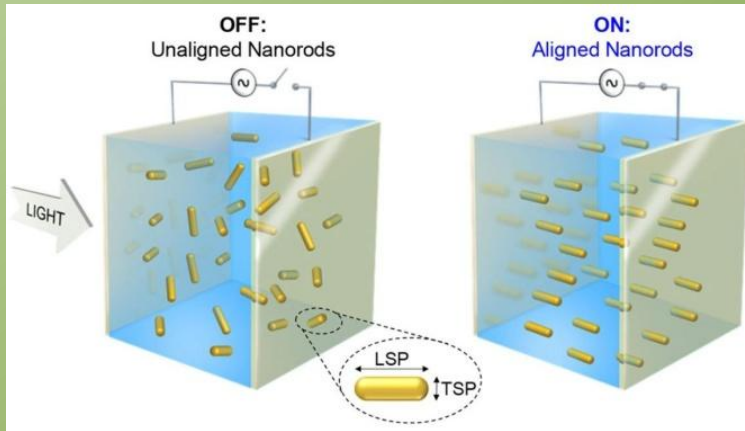
Μεταβάλλουν την παράμετρο τάξης και ελαττώνουν την τάση λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών

Εφαρμογές ΥΚ

Οθόνες, οπτικοί διακόπτες («έξυπνα» τζάμια), θερμικές κάμερες

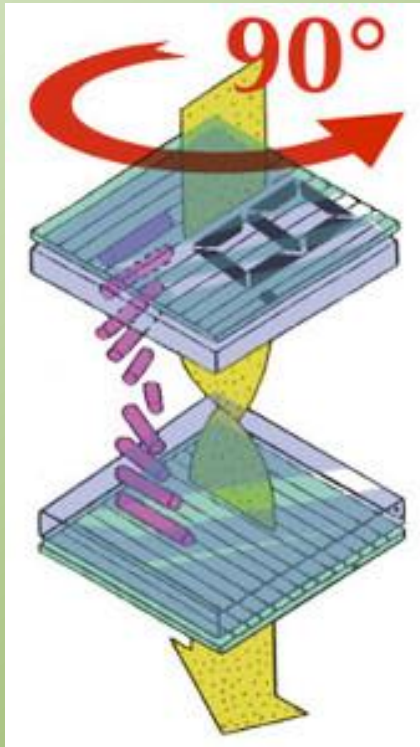
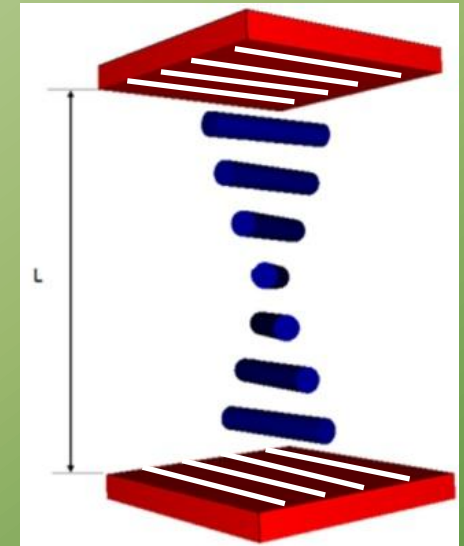


Πλασμονικά & νανοσύνθετα υλικά, εύκαμπτα φωτοβολταϊκά



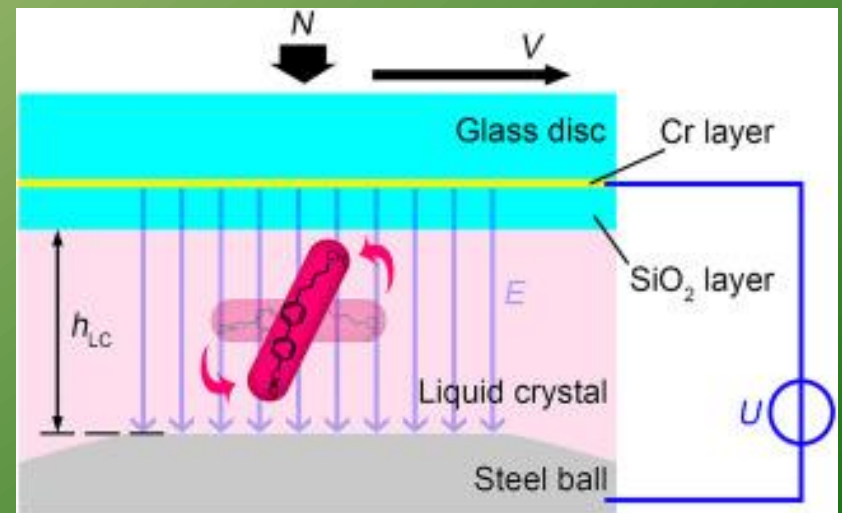
Πώς λειτουργεί μια οθόνη υγρών κρυστάλλων;

(1) Η ελαστική σύζευξη μεταξύ των μεσογόνων μορίων επιτρέπει το σχηματισμό ελικοειδούς διάταξής τους



(2) Μια νηματική κυψελίδα στρέφει το επίπεδο πόλωσης του φωτός

(3) Ένα μικρό ηλεκτρικό πεδίο (~ 1 V) στρέφει τα μεσογόμενα μόρια





Λυκοδήμος Βλάσης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

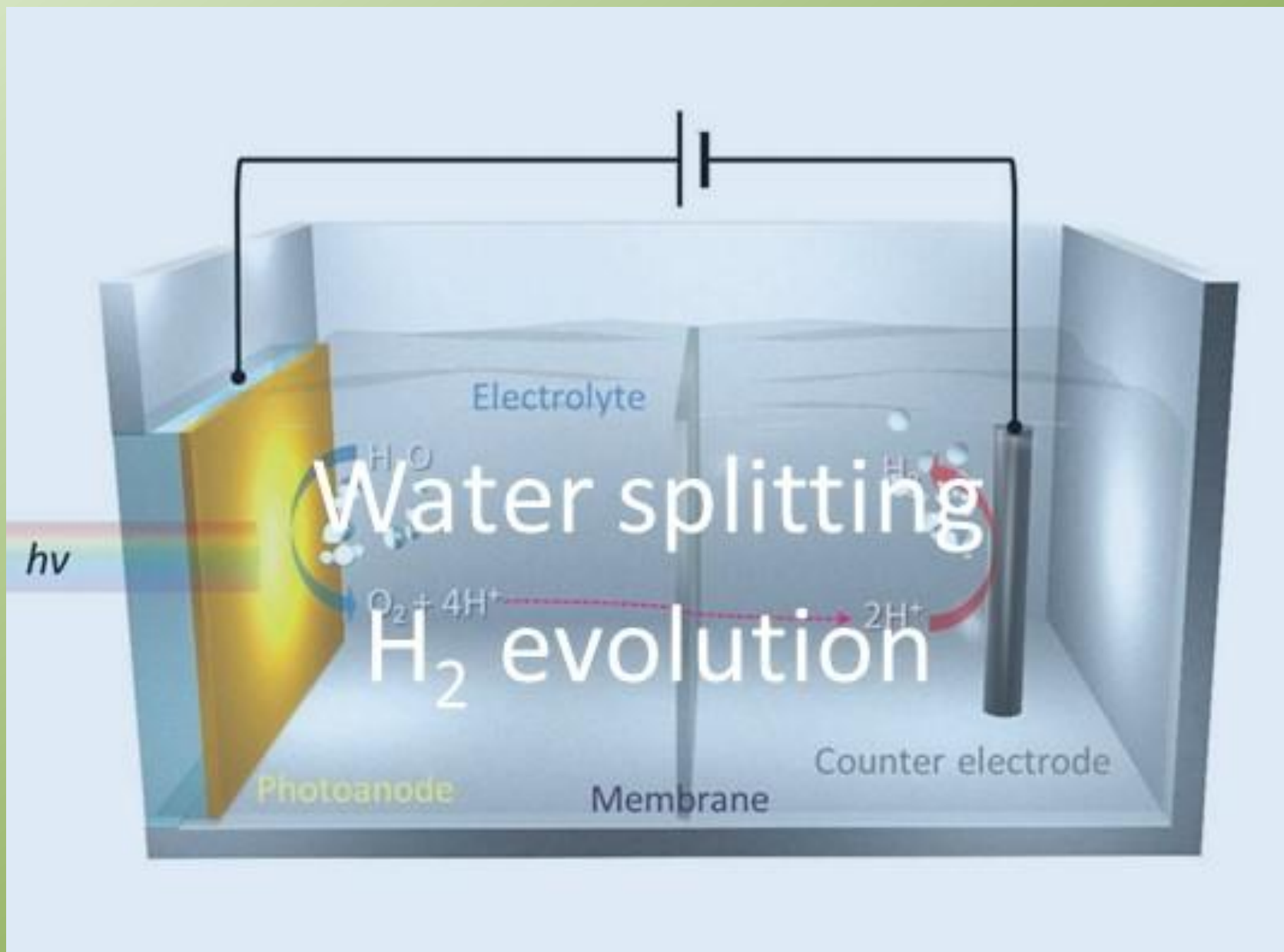
Περιοχές έρευνας

- Νανοδομημένοι ημιαγωγοί για ενεργειακές εφαρμογές
 - Νανοσύνθετα υλικά του άνθρακα
- Ηλεκτρονικές και μαγνητικές ιδιότητες σύνθετων οξειδίων στοιχείων μεταπτώσεως

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΕΚΑ05, Θεωρία)**
 - Φυσική των Μορίων και Νανουλικών (10ΕΚ502, Θεωρία)
 - Βασικό Εργαστήριο Φυσικής ΙΙΙ (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)

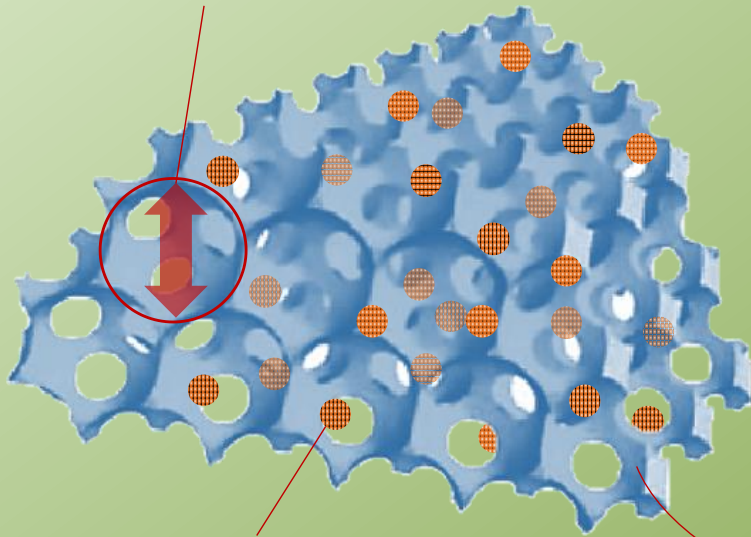
Μορφολογία, μέγεθος, σχήμα - Ηλεκτρονικές ιδιότητες νανοϋλικών



Photonic crystals

Periodicity

Slow photons-multiple light scattering



Light harvesting
Electronic properties
Mass transport

Light-induced applications

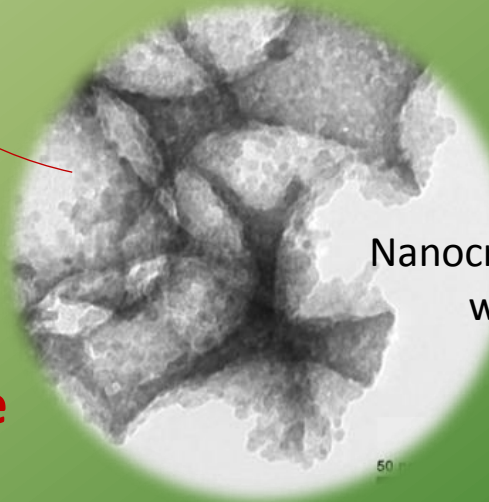
Photocatalysis
Water Splitting
SERS sensors

Composition

Optical absorption-charge separation

Meso-macroporous structure

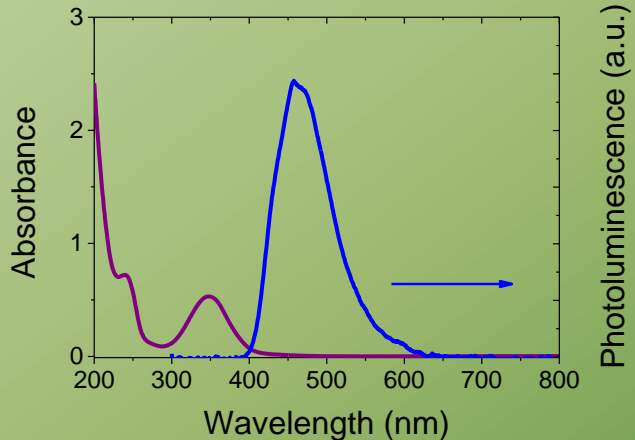
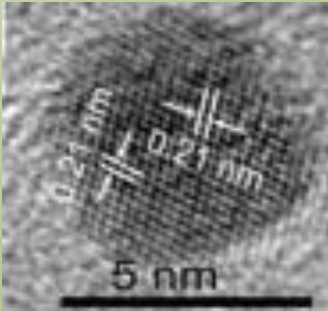
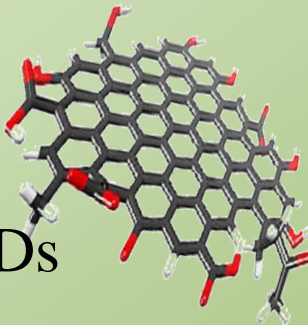
Molecular diffusion-mass transport



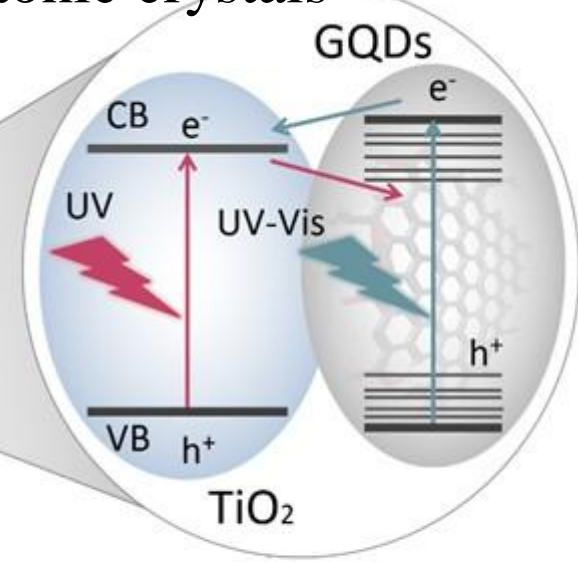
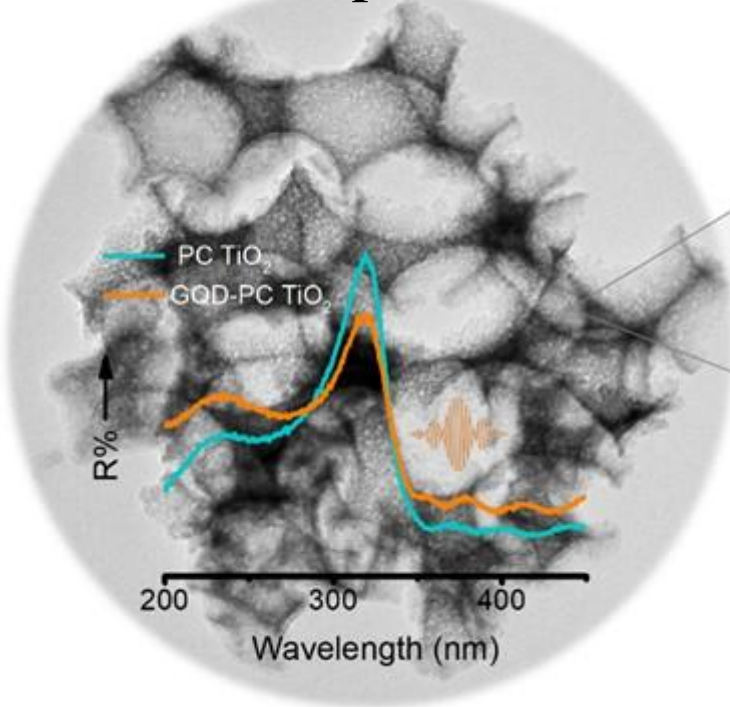
Nanocrystalline walls

Graphene nanomaterials –TiO₂ Photonic crystals

Graphene
Quantum
Dots -GQDs



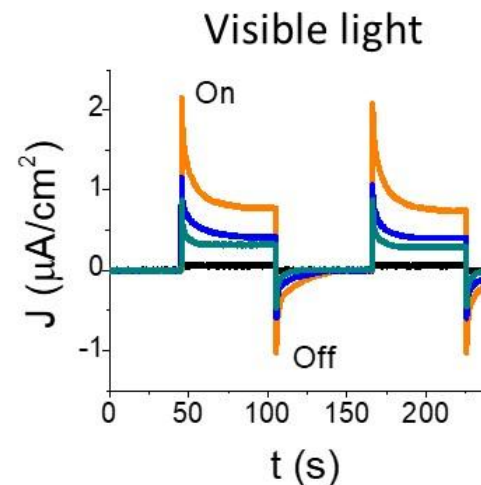
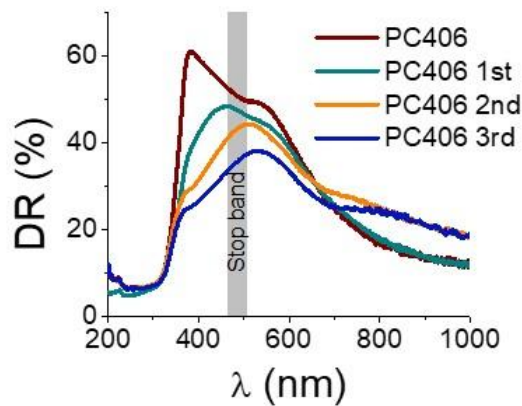
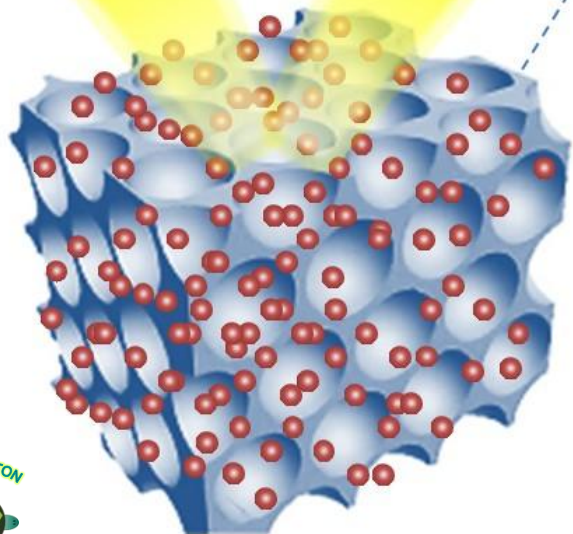
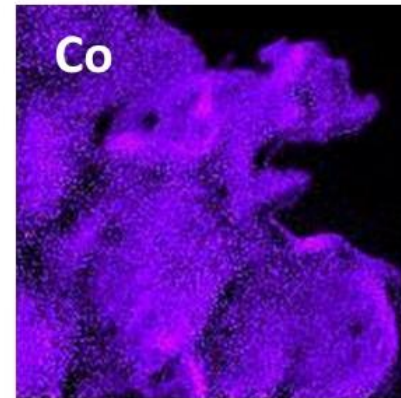
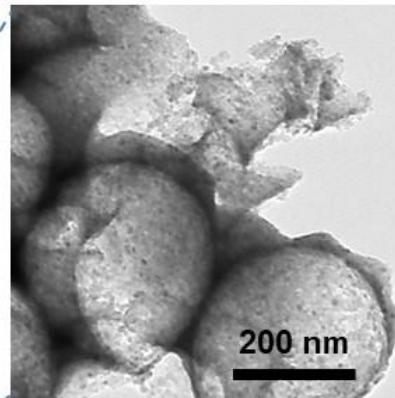
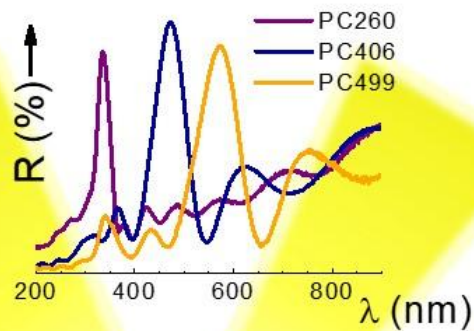
Graphene QDs-TiO₂ photonic crystals



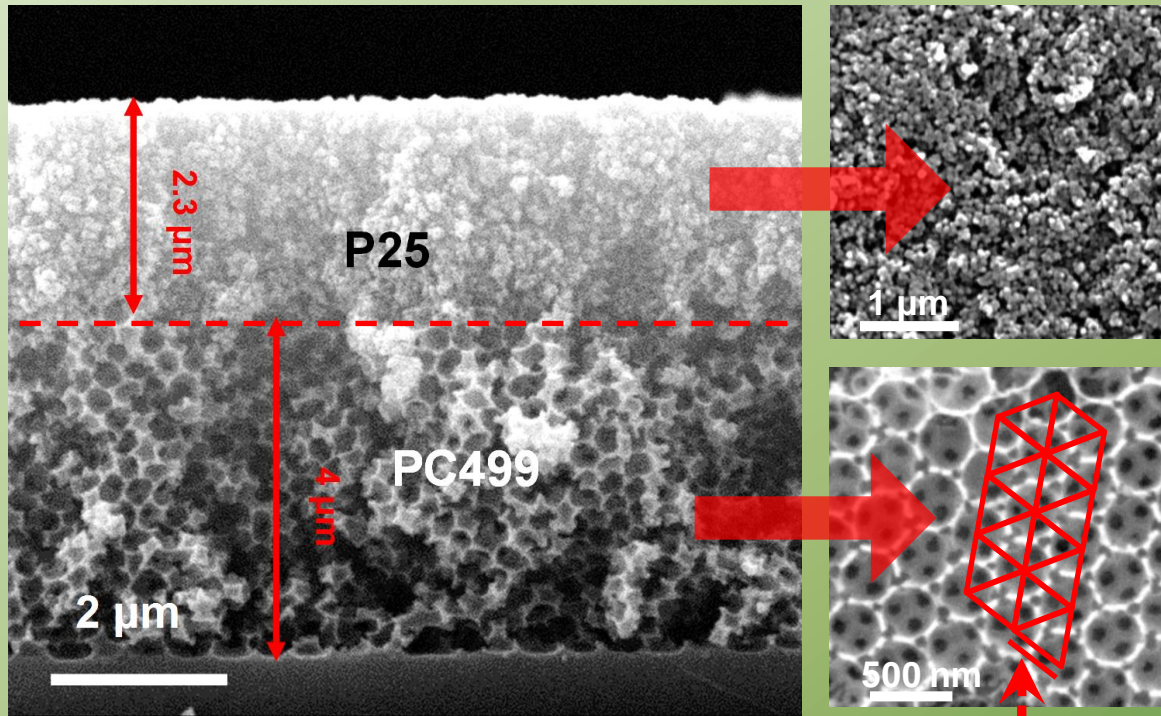
Metal oxide Photonic Crystal photocatalysts

CoO_x-TiO₂

Surface modification of co-assembled TiO₂ photonic crystal by nanoscale Co-oxides boosts visible light harvesting and charge separation for photocatalytic applications

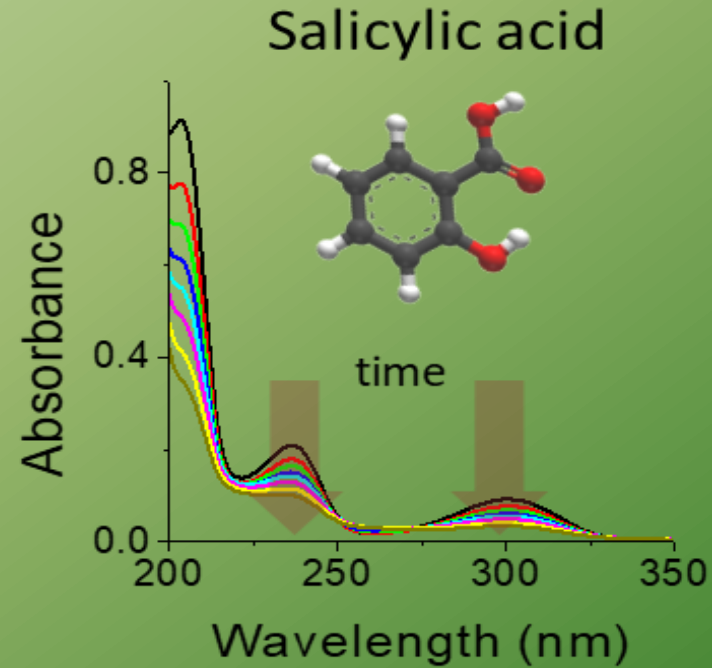


Bilayer $\text{CoO}_x\text{-TiO}_2$ mesoporous-photonic films

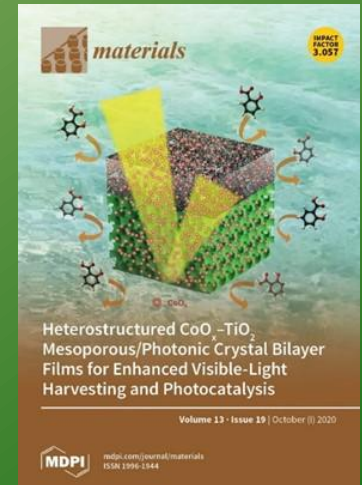


fcc structure

Lattice constant ~380 nm



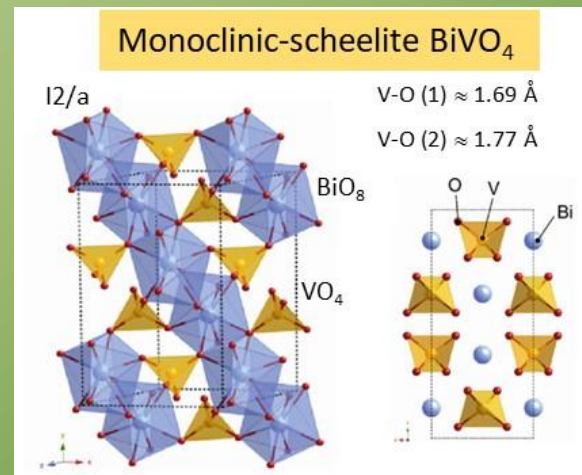
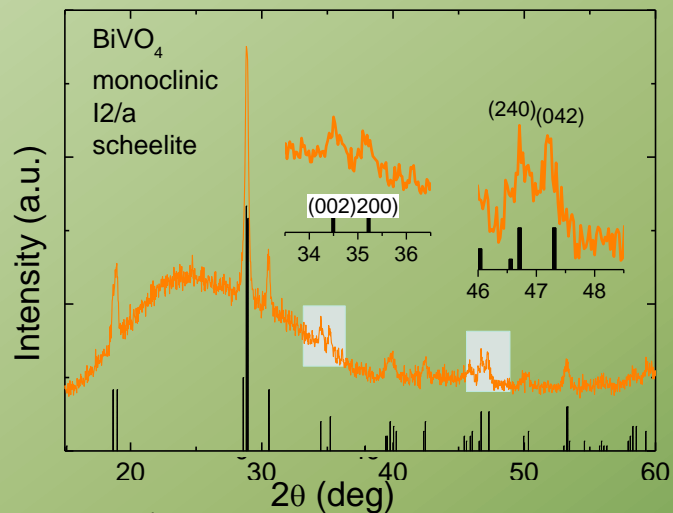
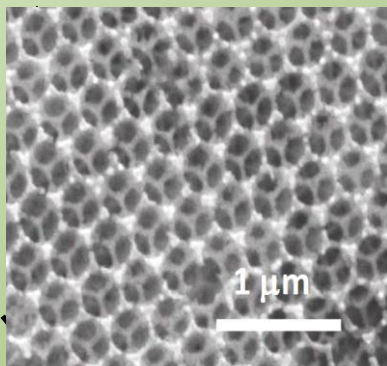
Photonic crystals can be very effective both as photocatalytically active layers and Bragg mirrors in heterostructured photocatalytic films



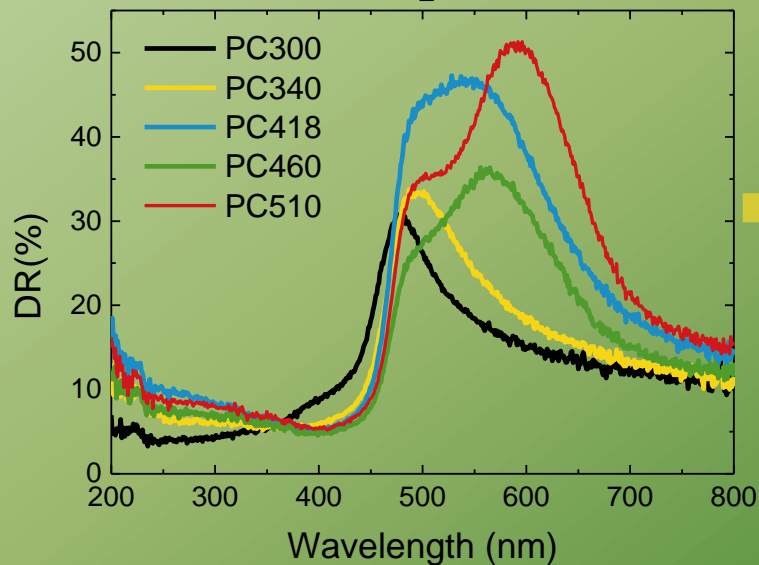
Metal oxide Photonic Crystal photocatalysts

Bismuth vanadate BiVO_4 : Best metal oxide photoelectrode for visible light

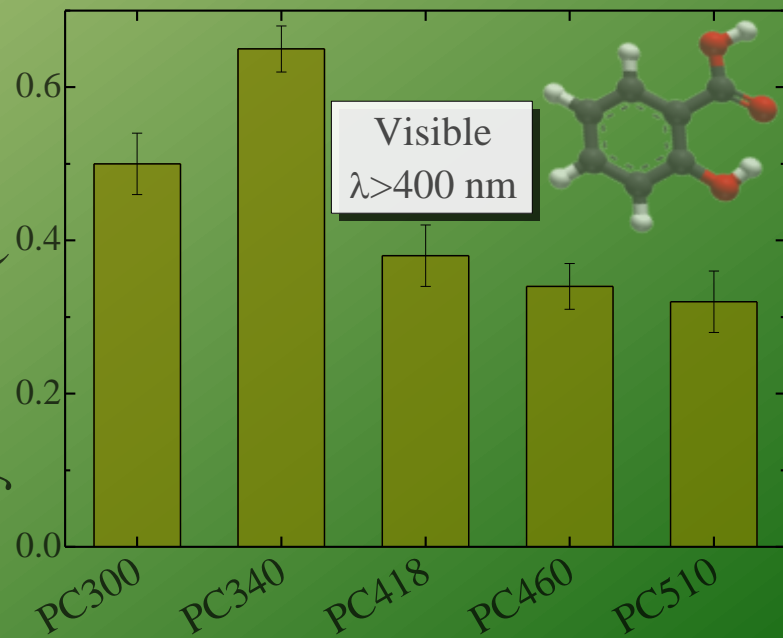
Substrate
film
 BiVO_4



Photonic band gap tuning vs BiVO_4
electronic absorption at 500 nm



Ρυθμος αποδομησης του
Salicylic Acid (10^{-7} M/min)





Μανουσάκης Ευστράτιος, Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρητική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Φυσική πολλών σωμάτων
- Συστήματα ηλεκτρονίων με ισχυρές συσχετίσεις
 - Υπεραγωγιμότητα
 - Υπερρευστότητα
 - Μεταβάσεις φάσης

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Συσχετισμένα Κβαντικά Συστήματα (10ΕΚ501, Θεωρία)**

Quantum many-body systems of our interest

- Quantum films, liquids and solids
- Two-dimensional electron gas
- Quantum magnetism and frustrated spin systems
- Strongly correlated electrons (cuprate and pnictide superconductors)
- Transition Metal Oxide based materials
- Quantum Hall, Topological Insulators and Weyl type materials.
- Transition metal dichalcogenides
- Topological Superconductivity
- Superlattices

Methods that we develop and use

- Analytical and semi-analytical techniques: Spin-wave approximation, diagrammatic techniques, HNC (Hyper-netted Chain) and FHNC (Fermi-Hyper-netted Chain).
- Quantum simulation techniques: Variational Monte Carlo, Green's function Monte Carlo, Path-Integral Monte Carlo, Flat Histogram Quantum Monte Carlo.
- First principle many-body perturbation theory calculations (GW) based on density-functional theory (DFT) within the local-density approximation (LDA). GW is term for an approximation used to calculate the self-energy of a many-body system of electrons.

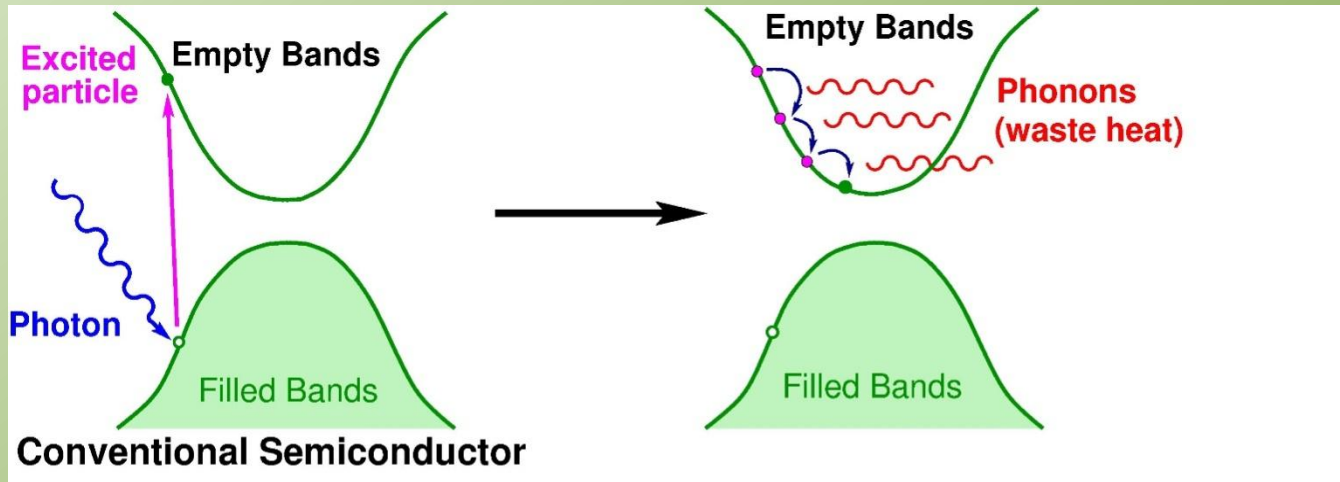
Novel Ideas to produce efficient photovoltaic cells

Next, the idea proposed in Phys. Rev. B 82, 125109 (2010) by E. Manousakis will be explored.

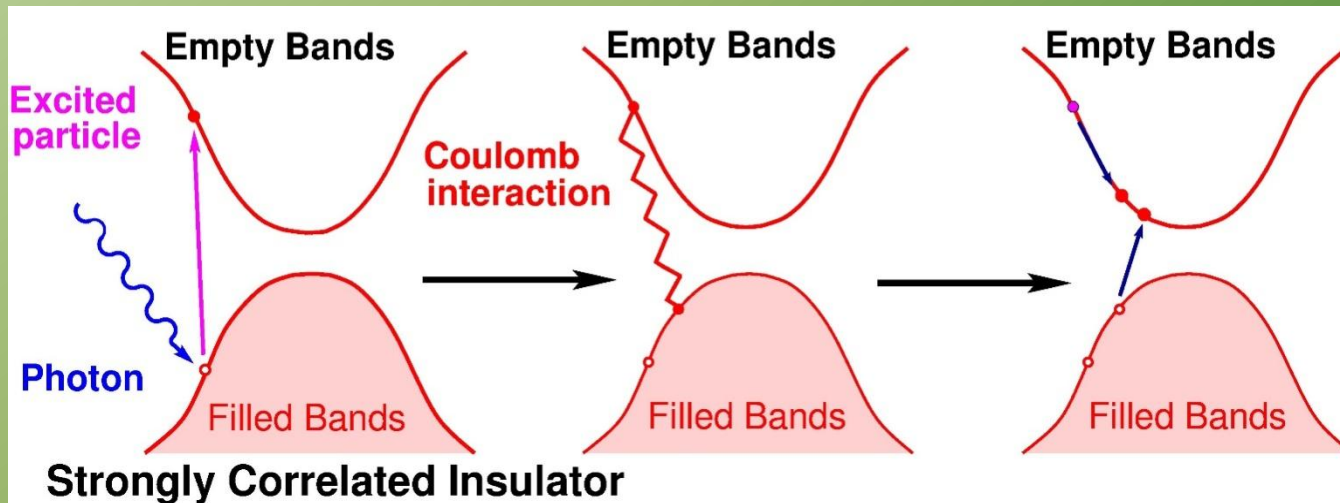
The idea is that a single solar photon incident in certain strongly correlated insulators can produce multiple electron/hole pairs on a very fast (10^{-15} sec) time scale. This effect prevents the loss of the excess energy, beyond the band gap of the Incident solar photon, into phonons and heat. The effect is illustrated in the following slide.

The idea has been shown to work by first principle calculations (next) and by ultra fast optical pump and probe experiments. See J. E. Coulter, E. Manousakis, and A. Gali Phys. Rev. B 90, 165142 (2014) for the calculations and for the experimental demonstration see J. Holleman, M. M. Bishop, C. Garcia, J. S. R. Vellore Winfred, S. Lee, H. N. Lee, C. Beekman, E. Manousakis, and S. A. McGill, Phys. Rev. B 94, 155129 (2016).

Photovoltaic effect in strongly correlated insulators

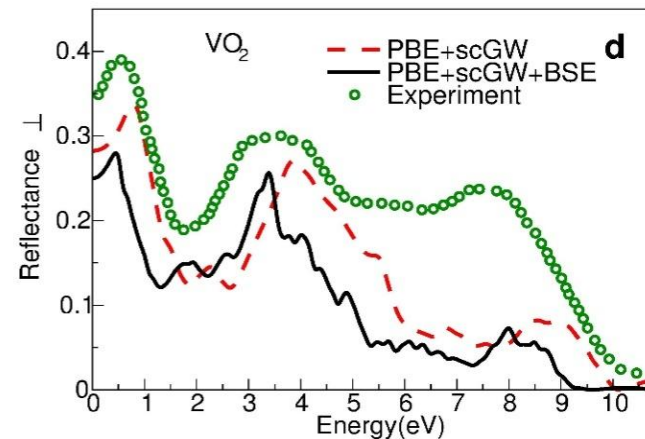
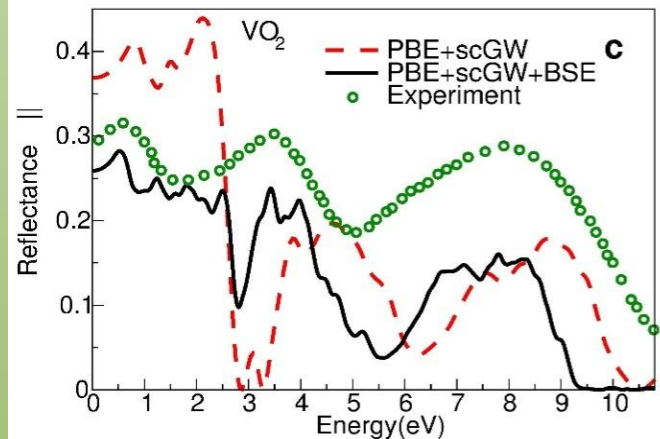
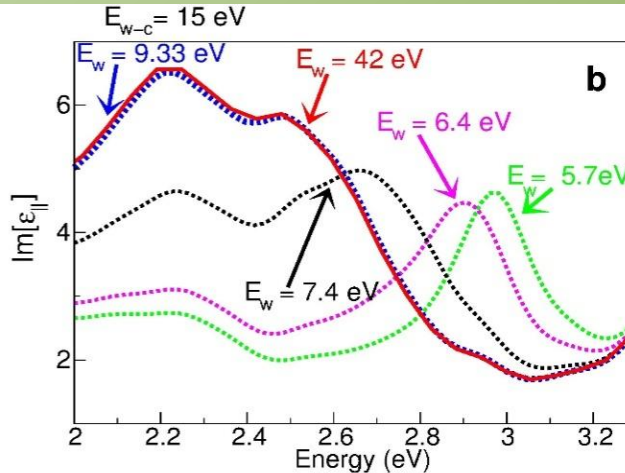
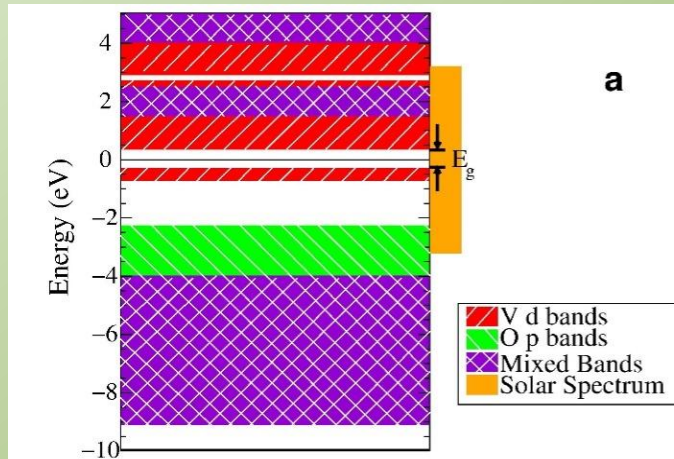


In a conventional semiconductor the excess energy of the photo-excited electron is dissipated by means of phonons into heat



In a strongly correlated insulator the excess energy is utilized to produce additional electron/hole pairs

Strongly Correlated Insulators VO₂



Mott insulators are a class of materials that according to conventional band theories are expected to be conductors, however these compounds turn out to be insulators especially at low temperatures. These materials fail to be described by conventional band theories of solids due to strong electron-electron interaction

Comparison of the calculated optical response with experiment for the strongly-correlated Mott insulator VO₂

Short summary

- Many-body perturbation theory starting from Density-Functional Theory within the LDA or GGA, or GGA+U in conjunction with Bethe-Salpeter theory can be used to approach optoelectronic properties of Transition Metal Oxides
- Strongly correlated insulators provide a broad class of materials to investigate for efficient photovoltaic applications
- Newly discovered Weyl semimetallic and Dirac materials can realize quasiparticles which obey relativistic equations for elementary particles. They are also candidates for several applications
- Topological superconductivity can be realized with exotic surface states, such as Majorana-drumhead quasiparticles



Μαυρόπουλος Φοίβος, Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρητική και Υπολογιστική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

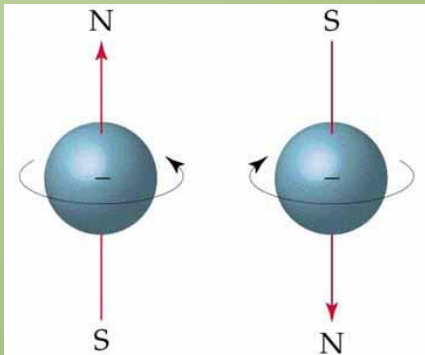
Περιοχές έρευνας

- Ηλεκτρονική και μαγνητική δομή των υλικών
- Μαγνητικές αλληλεπιδράσεις και φαινόμενα αλλαγής μαγνητικής φάσης
- Φαινόμενα μεταφοράς, εφυσυχασμός, ηλεκτρονικό σπιν, σπιντρονικά συστήματα

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Συσχετισμένα Κβαντικά Συστήματα (10ΕΚ501, Θεωρία)**
- Κβαντομηχανική I (10ΥΚΟ33, Θεωρία)

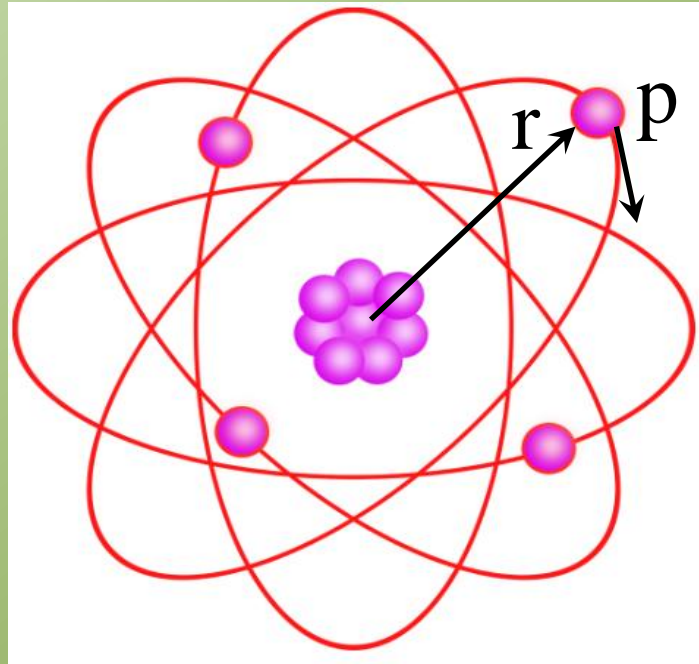
Ένα ηλεκτρόνιο: μάζα, φορτίο, σπιν, μαγνητική ροπή



$$\mu_s = -g_s \mu_B \frac{S}{\hbar}$$

$$S = \hbar/2 \text{ \& } g_s = 2$$

$$\mu_s = 1\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$



Κλαστικά $L = r \times p$

Κβαντικά L
 $\mu_L = -g_L \mu_B \frac{L}{\hbar}$
 $g_L = 1$

10^{23} ηλεκτρόνια στο στερεό σώμα

Κινητική ενέργεια ηλεκτρονίων

Αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρονίων

$$E = \sum_i \frac{\vec{p}_i^2}{2m} + C \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{e^2}{|\vec{r}_i - \vec{R}_j|} - C \sum_n \frac{Z_n e^2}{|\vec{r}_i - \vec{R}_n|} \\ + \sum_n \frac{\vec{P}_n^2}{2M_n} + C \frac{1}{2} \sum_{n,n'} \frac{Z_n Z_{n'} e^2}{|\vec{r}_n - \vec{R}_{n'}|}$$

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων-πυρήνων

Κινητική ενέργεια πυρήνων

Αλληλεπίδραση μεταξύ πυρήνων

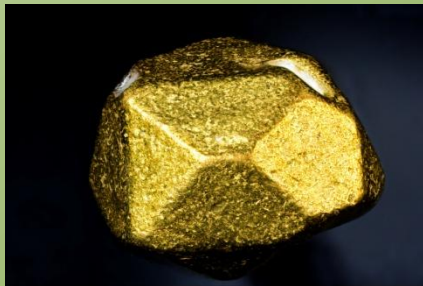
Κβαντική κυματοσυνάρτηση: $\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N)$

Πιθανότητα εύρεσης ηλεκτρονίων σε θέσεις $\{\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N\}$:
 $|\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N)|^2$

10^{23} ηλεκτρόνια στο στερεό σώμα

Με την ολική ενέργεια συνδέονται:

- Δομικές ιδιότητες (ευστάθεια, σκληρότητα, ελαστικότητα, σημείο τήξης)
- Φυσικές ιδιότητες (ηλεκτρική αντίσταση, ανάκλαση-απορρόφηση φωτός)
- Χημικές ιδιότητες (διαμόρφωση κραμάτων)
- Μαγνητικές ιδιότητες (διαμαγνητισμός, παραμαγνητισμός, σιδηρομαγνητισμός)



Au



Ni



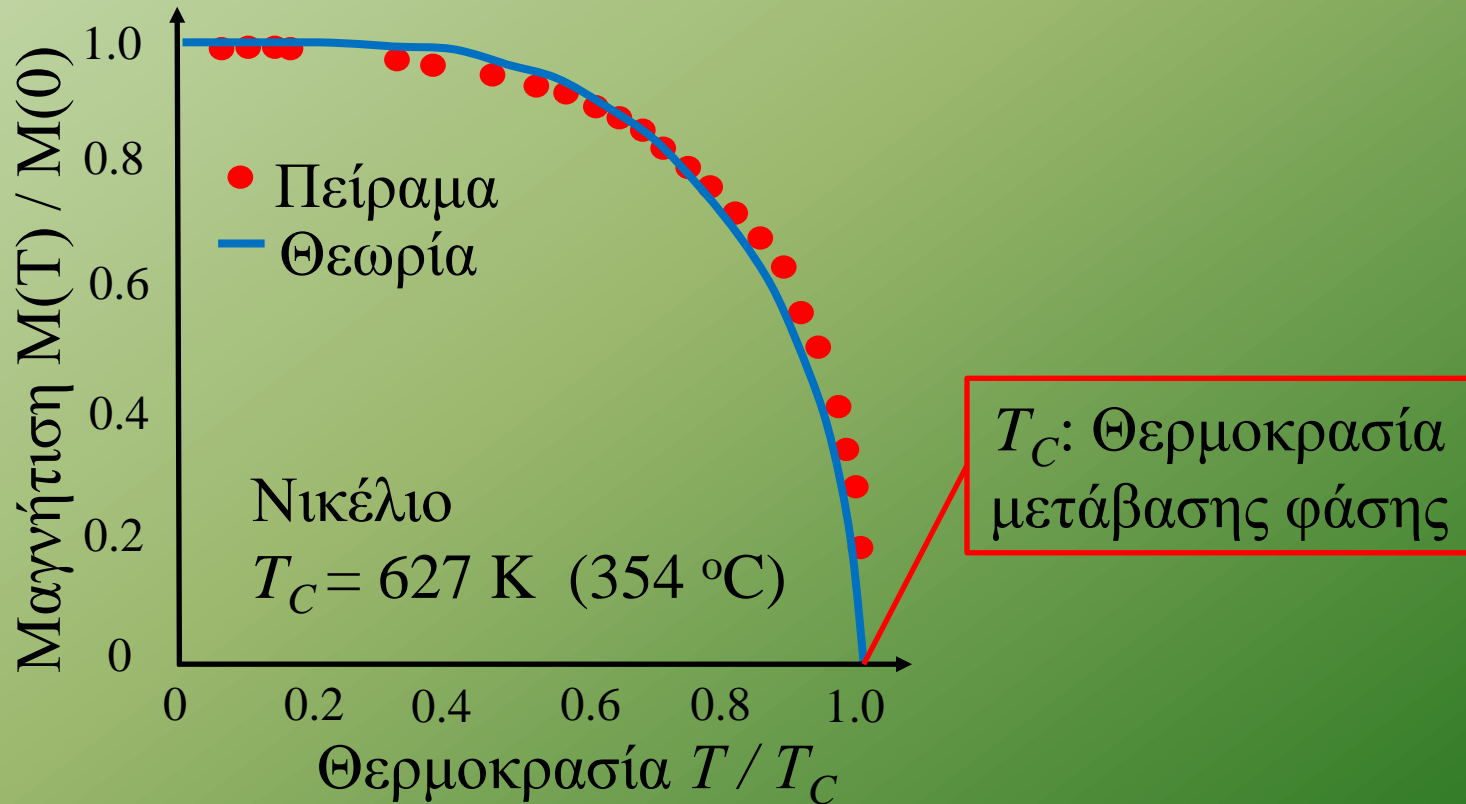
Γραφίτης

Αδάμας



YBaCuO

10^{23} ηλεκτρόνια στο στερεό σώμα: μακροσκοπική μαγνήτιση



Γιγαντιαία μαγνητοαντίσταση: διακόπτες spin

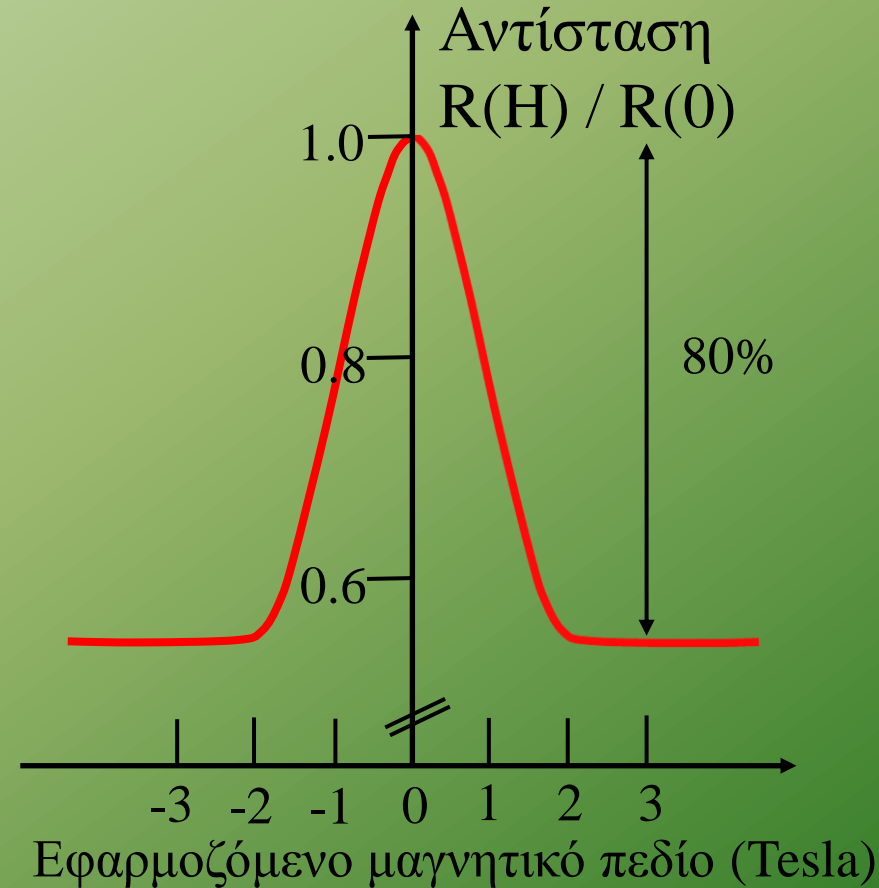
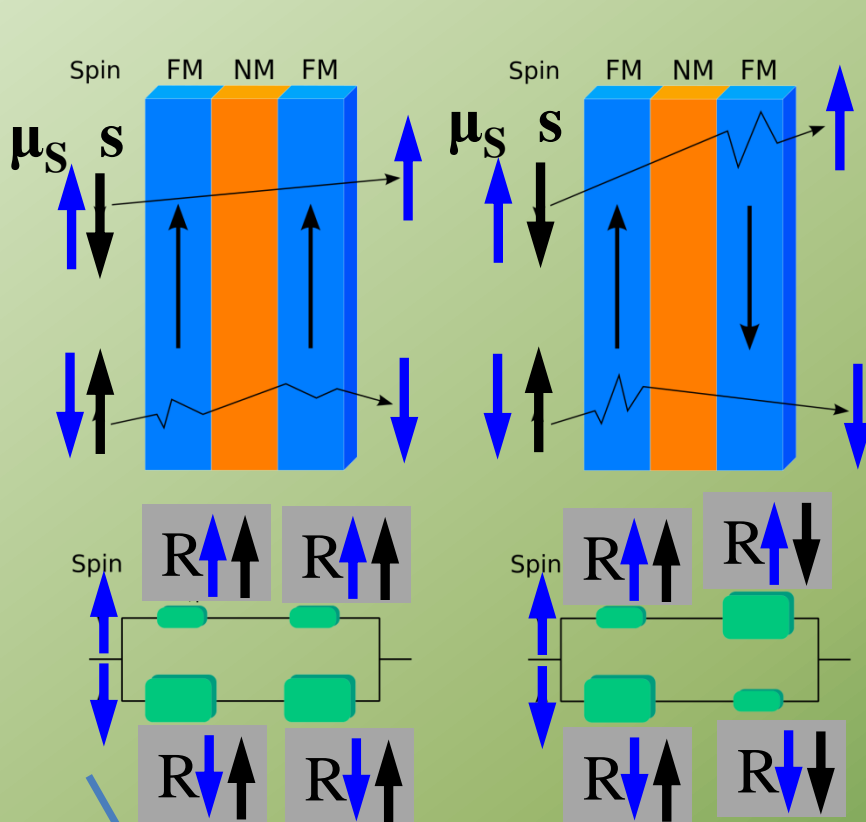


Fig.: nobelprize.org

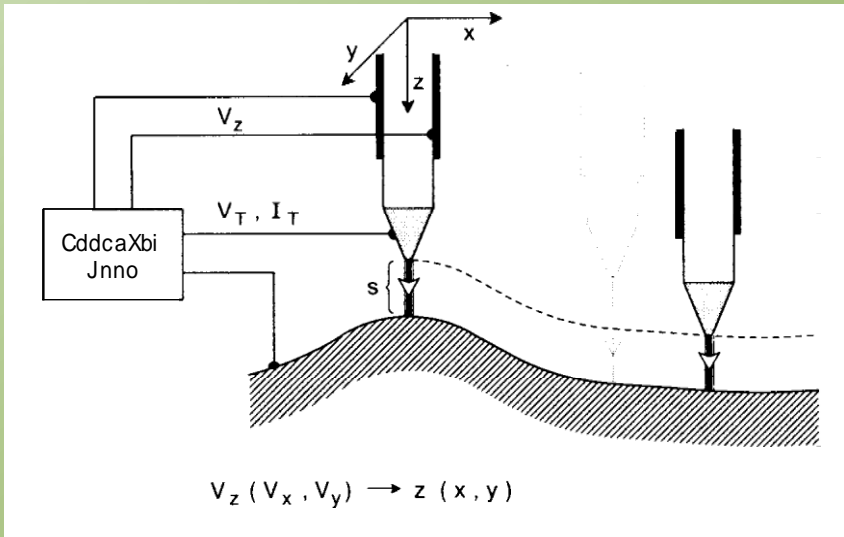


10 χρόνια από την ανακάλυψη στο εργαστήριο ως την τεχνολογική εφαρμογή

A. Fert & P. Grünberg,
Nobel Φυσικής 2007

Μικροσκοπία σήραγγας: ανάλυση σε ατομική κλίμακα

G. Binnig & H. Rohrer, Nobel Prize Lecture, 1986



Tunnel Tip

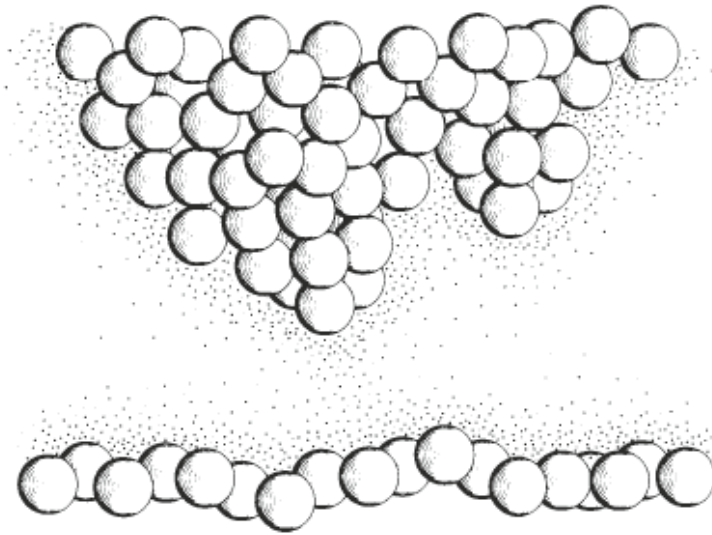
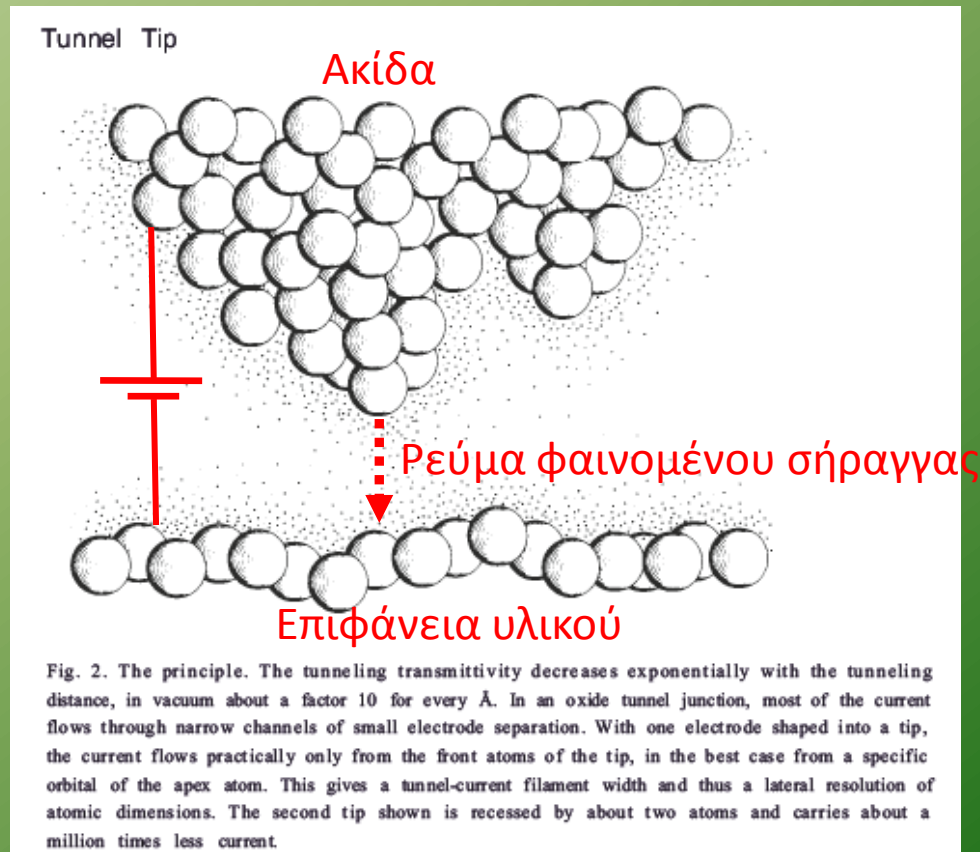
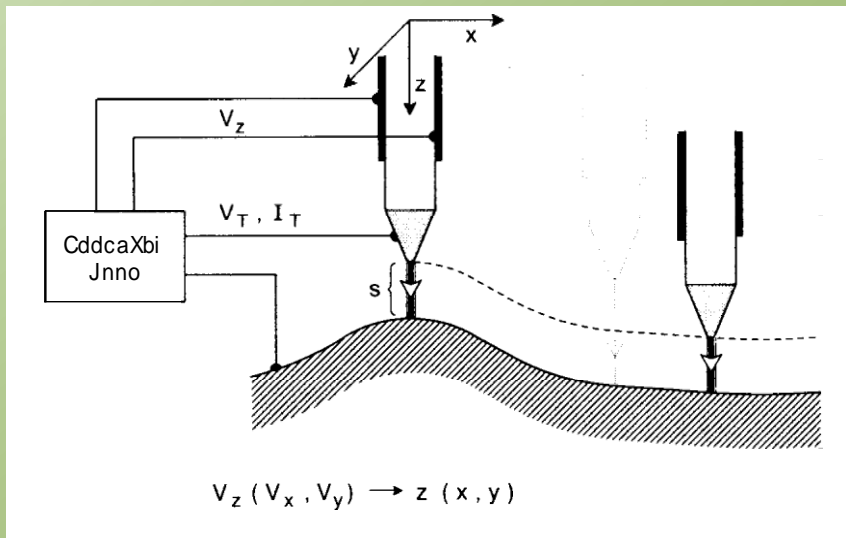


Fig. 2. The principle. The tunneling transmittivity decreases exponentially with the tunneling distance, in vacuum about a factor 10 for every Å. In an oxide tunnel junction, most of the current flows through narrow channels of small electrode separation. With one electrode shaped into a tip, the current flows practically only from the front atoms of the tip, in the best case from a specific orbital of the apex atom. This gives a tunnel-current filament width and thus a lateral resolution of atomic dimensions. The second tip shown is recessed by about two atoms and carries about a million times less current.

Μικροσκοπία σήραγγας: ανάλυση σε ατομική κλίμακα

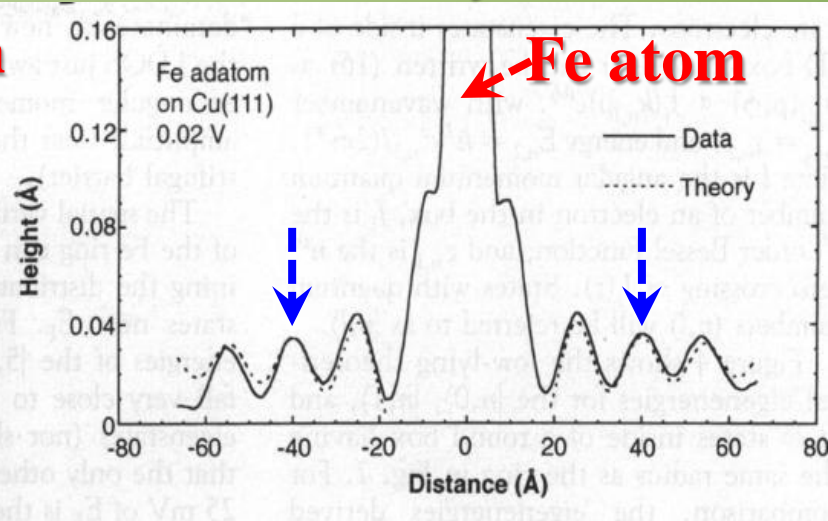
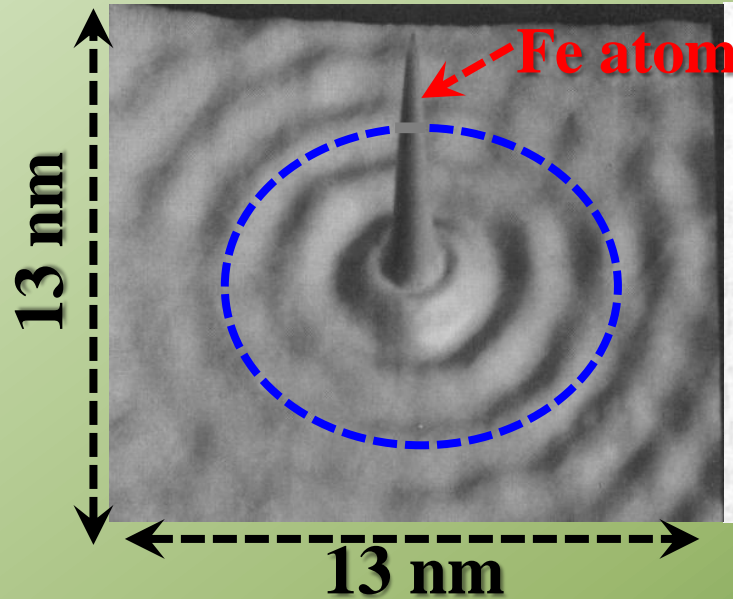
G. Binnig & H. Rohrer, Nobel Prize Lecture, 1986



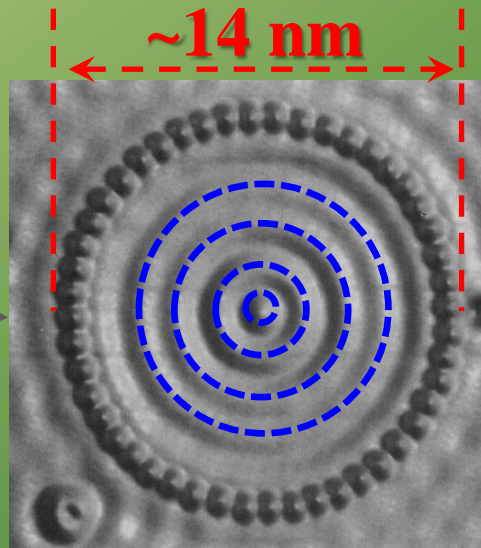
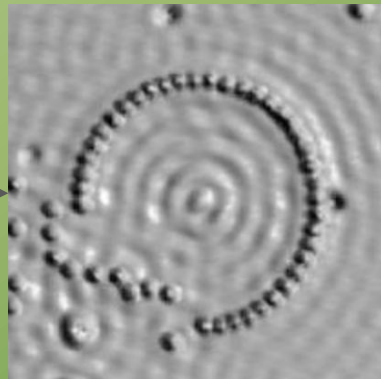
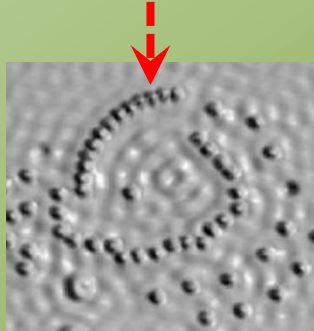
Μικροσκοπία σήραγγας: Κύματα πυκνότητας ηλεκτρονίων

Νανοδομές προσροφημένων ατόμων Fe ή Co σε επιφάνεια Cu

Waves of the electronic density



Fe atoms



~14 nm

48 Fe atoms on copper substrate (quantum corral): standing waves of the electronic density



Παπαθανασίου Αντώνης, Επίκουρος Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Διηλεκτρικά, οργανικοί ημιαγωγοί, πολυμερή, διάφανα συνθετικά μέταλλα
 - Νανοσύνθετα ετερογενή, κοκκώδη υλικά και πορώδη διηλεκτρικά
 - Διηλεκτρική φασματοσκοπία
 - Φυσική υψηλών πιέσεων και τεχνολογία
- Δυναμικές ιδιότητες υπεριξωδών υγρών και υλικών μακράν της ισορροπίας
- Συμπυκνωμένη ύλη σε ακραίες συνθήκες αλλαγής φάσης, κβαντικοί κρύσταλλοι, μεταλλικό υδρογόνο
- Λειτουργικά νανοσύνθετα υλικά νέων αλλοτροπικών μορφών του άνθρακα

Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια

- Φυσική II (10ΥΚΟ20, Θεωρία)
- Ατομική και Μοριακή Φυσική (10ΕΛΕ01, Θεωρία)
- Βασικό Εργαστήριο Φυσικής ΙΙΙ (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)

Παπαθανασίου Αντώνιος, Επίκουρος Καθηγητής

Μέρος Α

- Φυσική υψηλών Πιέσεων-Συμπυκνωμένη Ύλη σε ακραίες συνθήκες
Δυναμικές ιδιότητες συνθέτων ετερογενών συστημάτων, Υπερχωρητικότητα (Super-capacitance) πορωδών στερεών-ρευστών σε μεταβαλλόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας

- Υβριδικά πιεζοηλεκτρικά νανο-υλικά

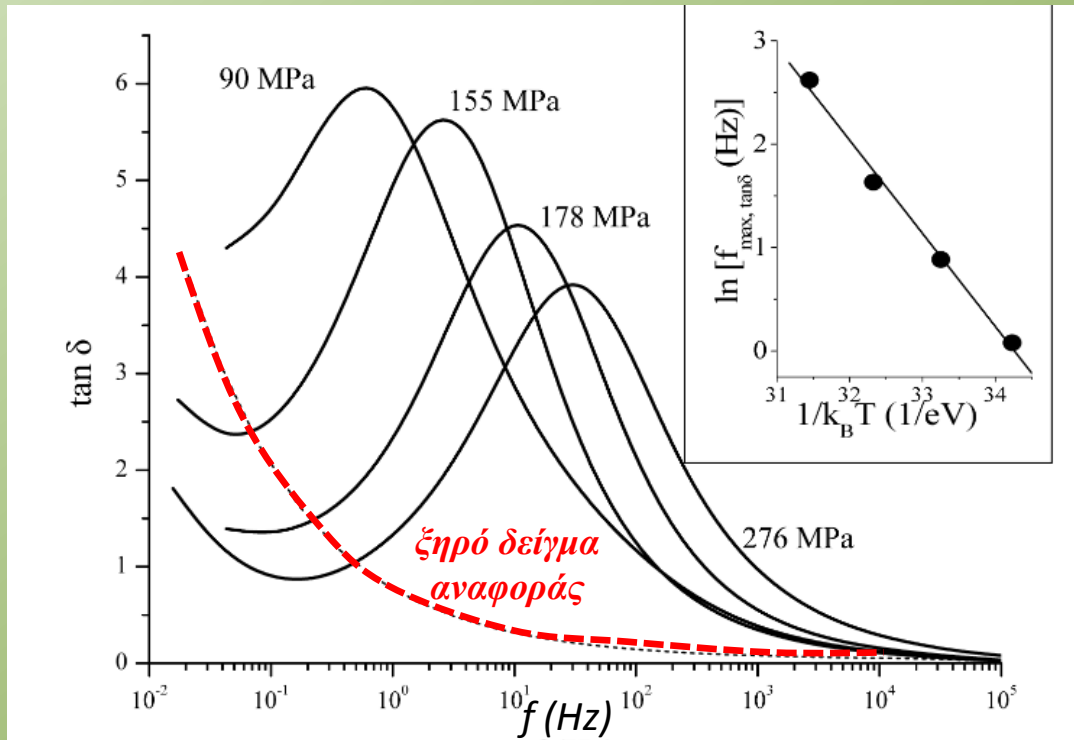
Εύχρηστα, βιοσυμβατά, οικολογικά πιεζοηλεκτρικά πολυμερή με εφαρμογές ως αισθητήρες, διατάξεις για τη συγκομιδή ενέργειας από το περιβάλλον κ.α.

- Νανο-σύνθετα αγωγή πολυμερή

Πλαστικά που άγουν τον ηλεκτρισμό για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.

Μελέτη μικροσκοπικών διεργασιών στις οποίες βασίζονται φαινόμενα μεγάλης κλίμακας, όπως:

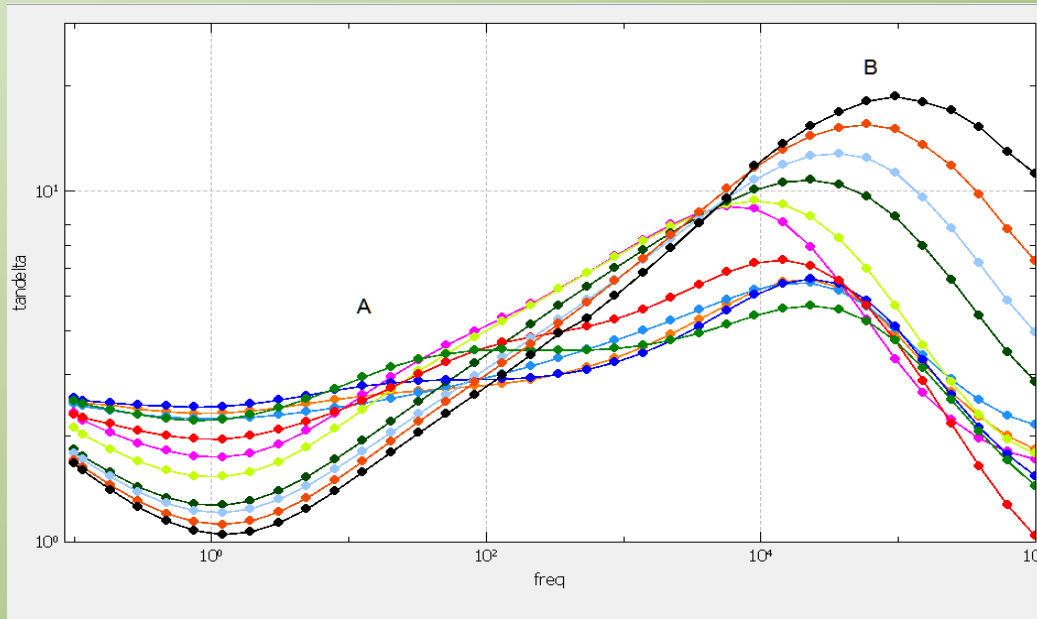
- διαταραχές γήινου ηλεκτρικού πεδίου που σχετίζονται με μεγάλης κλίμακας ηλεκτρο-μηχανικά γεωφυσικά φαινόμενα
- δυναμική ύδατος, υγρών ή αερίων υδρογονανθράκων



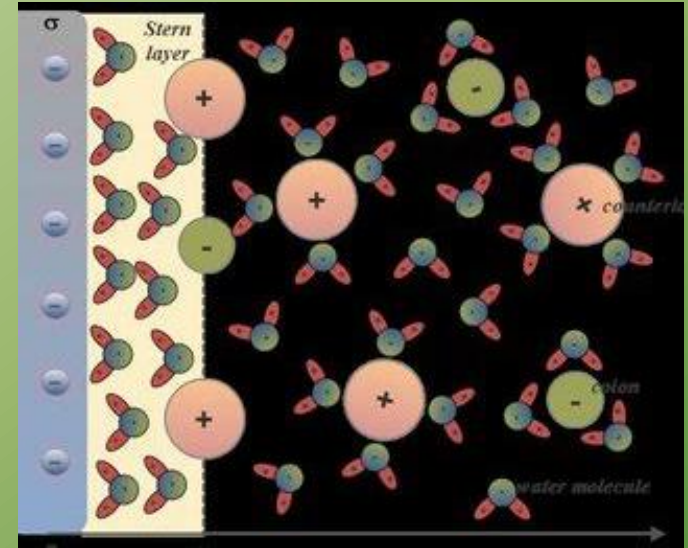
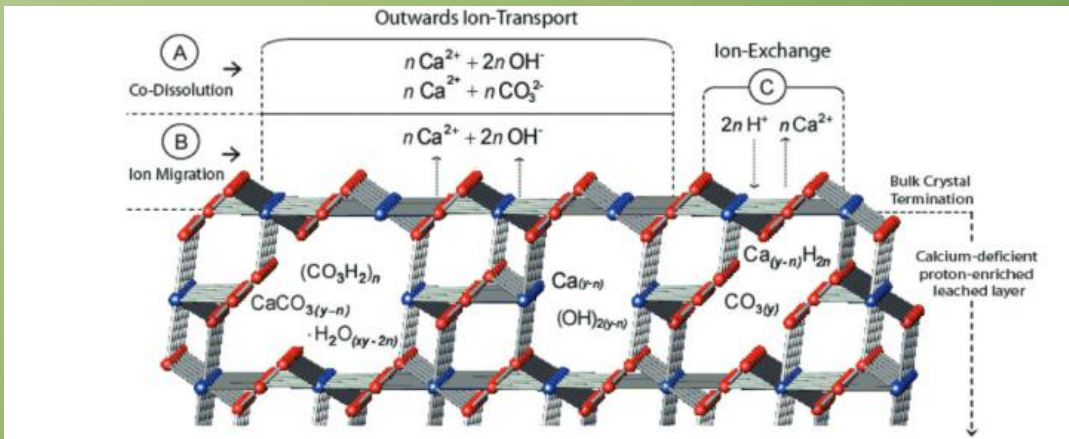
Πειραματική διερεύνηση της συνεισφοράς του εγκλεισμένου νερού μέσα σε ανθρακικά πετρώματα στη διηλεκτρική συμπεριφορά του πετρώματος σε υψηλές πιέσεις.

Γεωλογικά δείγματα διαφορετικού περιεχομένου νερού

Πειράματα ελεγχόμενης προσομοίωσης των γεωφυσικών συνθηκών στο εργαστήριο



Μελέτη της αλληλεπίδρασης μορίων νερού με ανθρακικά πετρώματα.



Αύξηση της τιμής της διηλεκτρικής σταθεράς πέραν της προβλεπόμενης από κανόνες ανάμιξης υλικών. Τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν σημασία (α) για τη διηλεκτρική απόκριση του υλικού σε γεωφυσικά φαινόμενα και (β) για τη δημιουργία υλικών με πολύ μεγάλες τιμές χωρητικότητας ηλεκτρικού φορτίου (super-capacitors).

Παπαθανασίου Αντώνιος, Επίκουρος Καθηγητής

Μέρος Α

- Φυσική υψηλών Πιέσεων-Συμπυκνωμένη Ύλη σε ακραίες συνθήκες
Δυναμικές ιδιότητες συνθέτων ετερογενών συστημάτων, Υπερχωρητικότητα (Super-capacitance) πορωδών στερεών-ρευστών σε μεταβαλλόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας

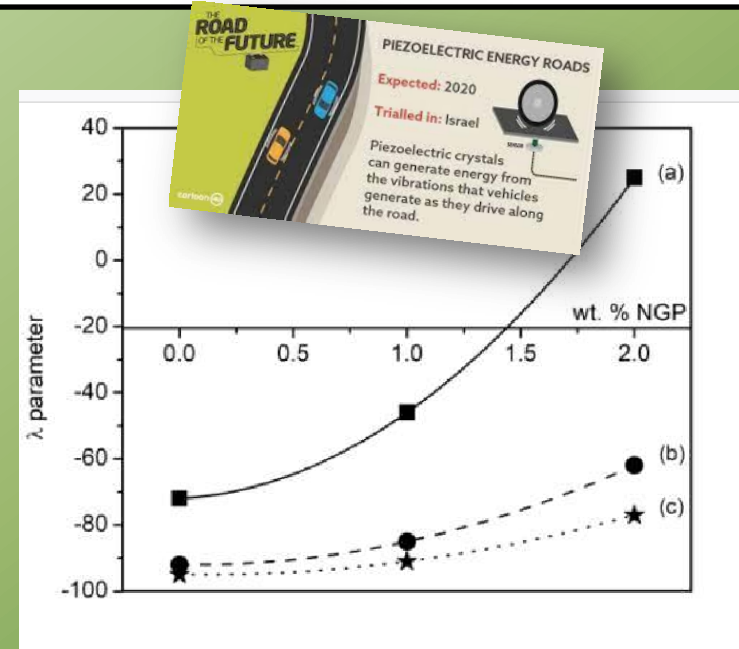
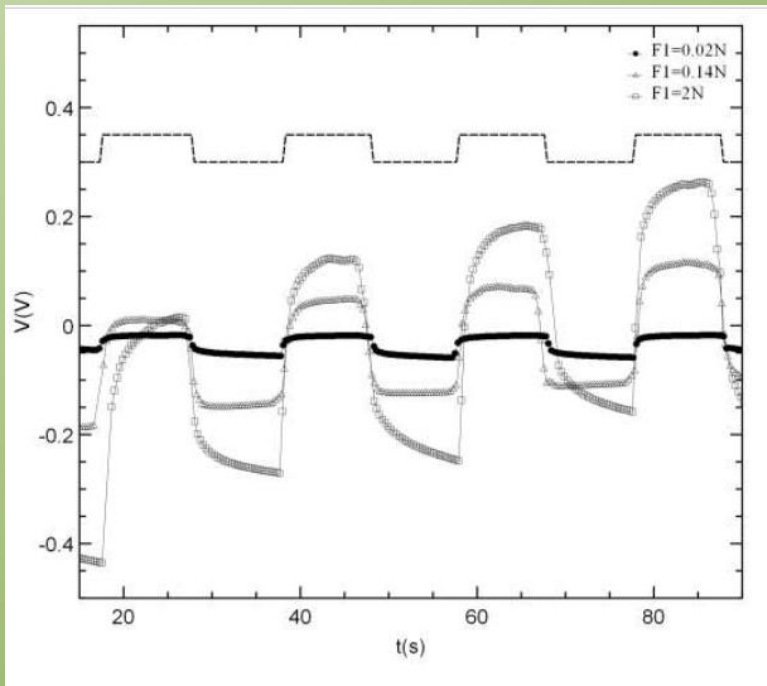
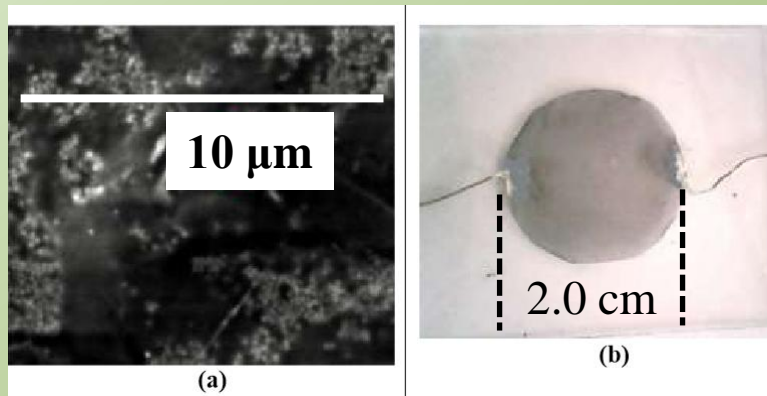
- Υβριδικά πιεζοηλεκτρικά νανο-υλικά

Εύχρηστα, βιοσυμβατά, οικολογικά πιεζοηλεκτρικά πολυμερή με εφαρμογές ως αισθητήρες, διατάξεις για τη συγκομιδή ενέργειας από το περιβάλλον κ.α.

- Νανο-σύνθετα αγωγή πολυμερή

Πλαστικά που άγουν τον ηλεκτρισμό για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση, μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.

Νανο-σύνθετα πολυμερικά υλικά με τεράστια ικανότητα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντιστρόφως



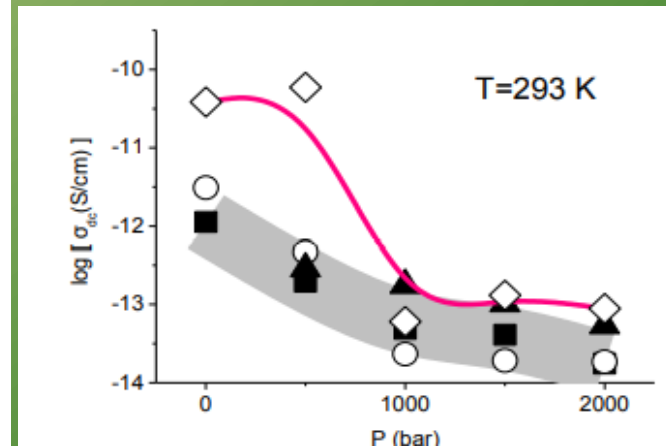
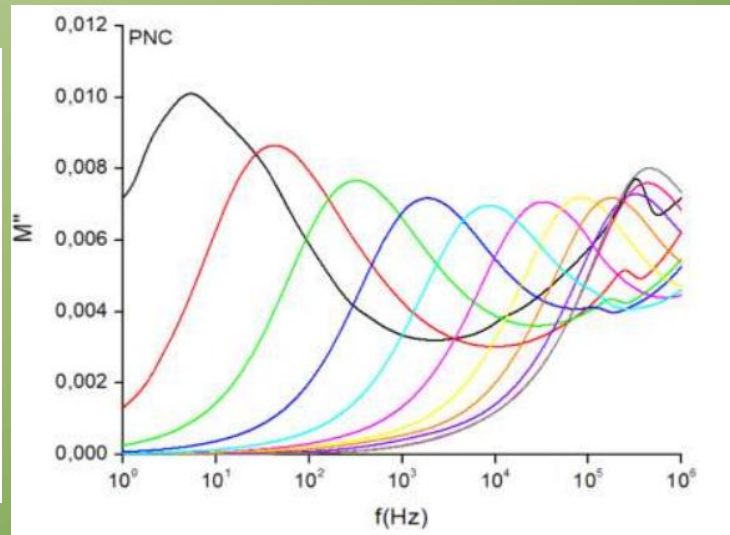
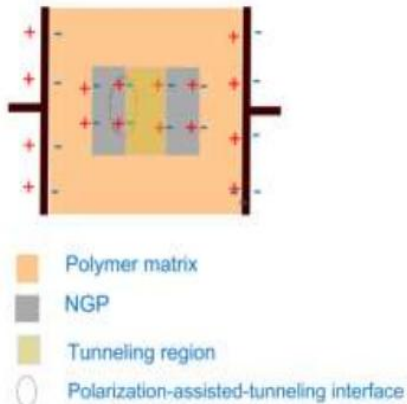
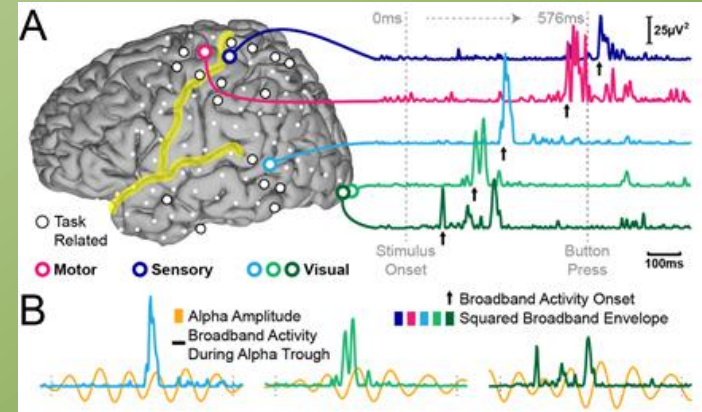
Σχετική απόδοση δειγμάτων NGP (nanographene platelets) in PVDF (φθοριούχο πολυβινυλιδένιο) ως προς το δείγμα αναφοράς (100% PVDF)

Νανο-δισκία γραφενίου ή νιτριδίου του άνθρακα ενισχύουν το τοπικό εσωτερικό πεδίο μηχανικών τάσεων σε ετερογενείς δομές αδρανούς πολυμερούς με εγκλείσματα πιεζοηλεκτρικών πολυμερών

Παραγωγή τάσης κατόπιν αποκρίσεων σε ασθενείς εξωτερικά ασκούμενες πιέσεις

Αισθητήρες πίεσης (Sensors), Έξυπνοι διακόπτες (Smart -Functional Materials)

Κλασικά, ένα πολυμερές (πλαστικό) με 2% κβ διεσπαρμένα αγώγιμα νανο-δισκία γραφενίου είναι μονωτής. Κβαντομηχανικά, είναι εφικτή η διαδοχική κίνηση ηλεκτρονίων μεταξύ γειτονικών νανο-δισκίων μέσω κβαντικής διέλευσης μέσω του πολυμερούς. Με τη συμπίεση του δείγματος, μεταβάλλεται η πυκνότητα ρεύματος μεταξύ των νανο-δισκίων. Το νανο-σύνθετο υλικό λειτουργεί ως αισθητήρας πίεσης/διακόπτης ηλεκτρικού ρεύματος



Διηλεκτρικά φάσματα αποκαλύπτουν τη ροή ηλεκτρονίων σε διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες, με στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας του υλικού



Σαρλής Νικόλαος, Καθηγητής

Αντικείμενο: Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

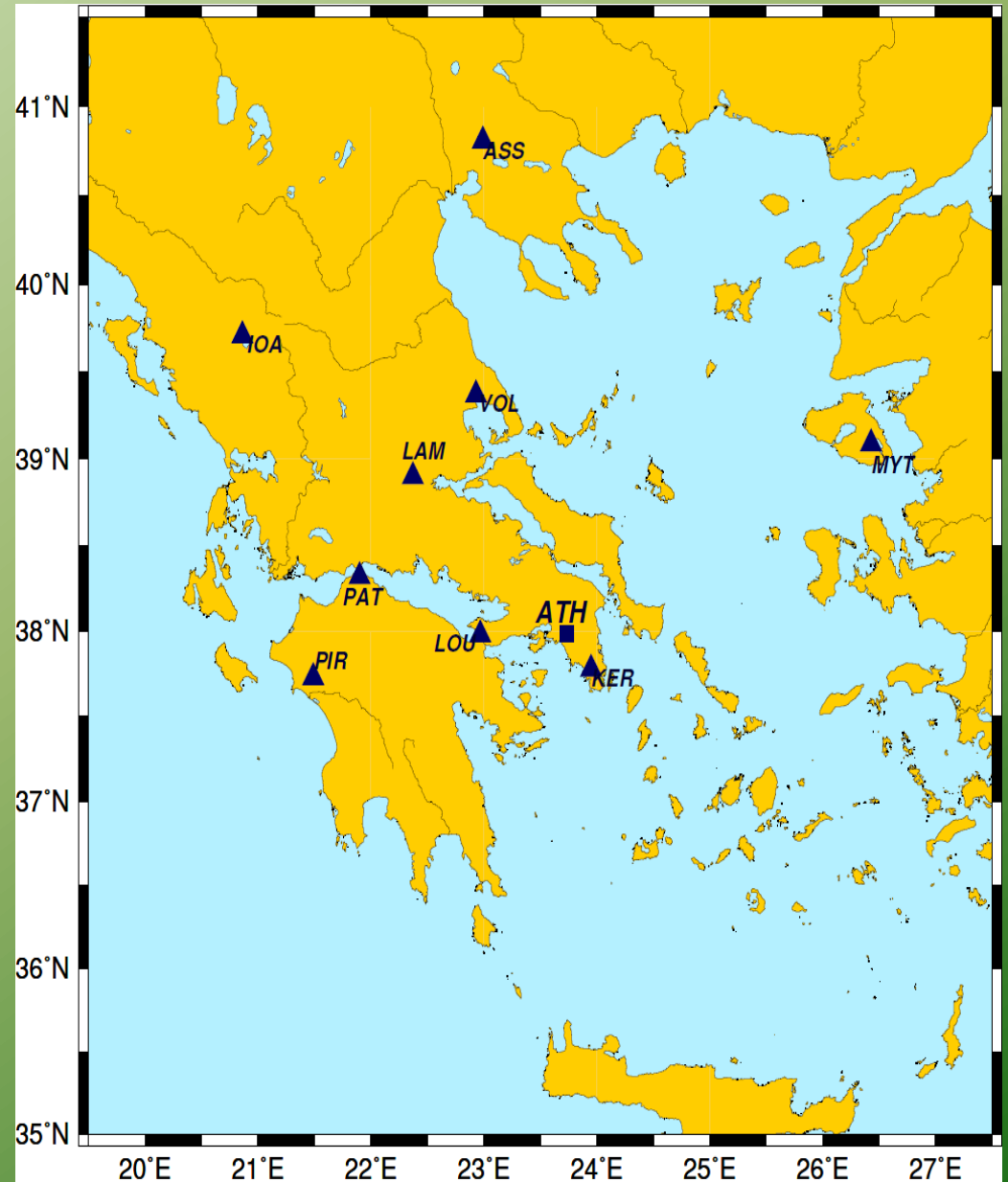
- Φυσική του στερεού φλοιού της Γης
- Θερμοδυναμική συστημάτων μακράν της ισορροπίας
- Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων σε ανομοιογενή μέσα
 - Φυσική πολύπλοκων συστημάτων
- Θερμοδυναμική πλεγματικών ατελειών

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- Φυσική II (10ΥΚΟ02, Θεωρία)
- Βασικό Εργαστήριο Φυσικής III (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)

Το τηλεμετρικό δίκτυο BAN στην Ελλάδα

Συλλέγονται **αδιαλείπτως**
δεδομένα του
Γεωηλεκτρικού και
Γεωμαγνητικού πεδίου σε
8 Πειραματικούς Σταθμούς
Υπαίθρου ανά την Ελλάδα



Ανίχνευση προσεισμικών μεταβολών του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου της Γης

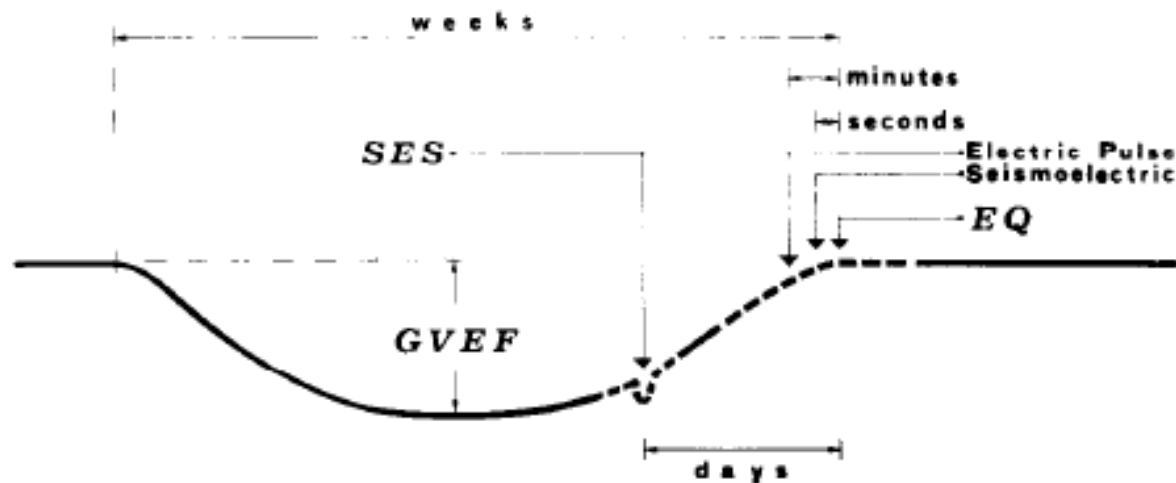


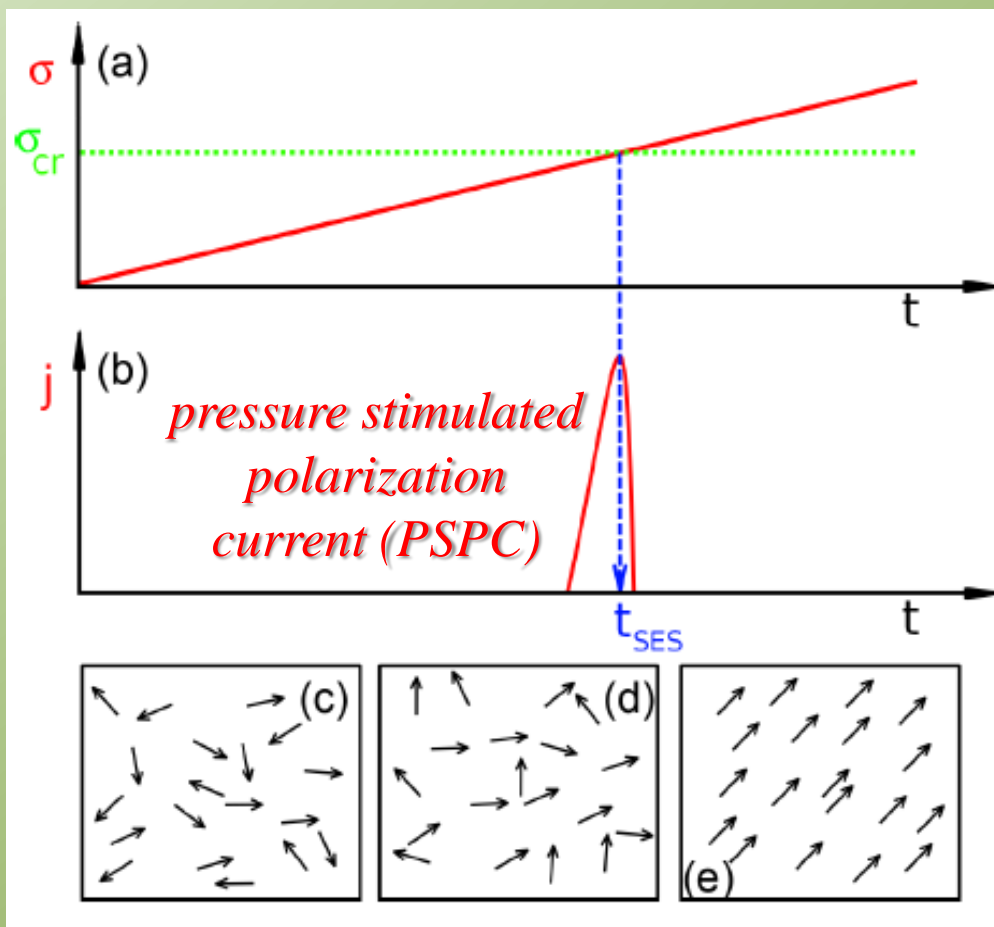
Fig. 19. Schematic representation of the time sequence of the three types of electrical precursors (GVEF, SES and electric pulse) that have been observed in Greece. Not to scales (for the exact values see the text).

GVEF: Gradual Variations of the Electric Field

SES: Seismic Electric Signals

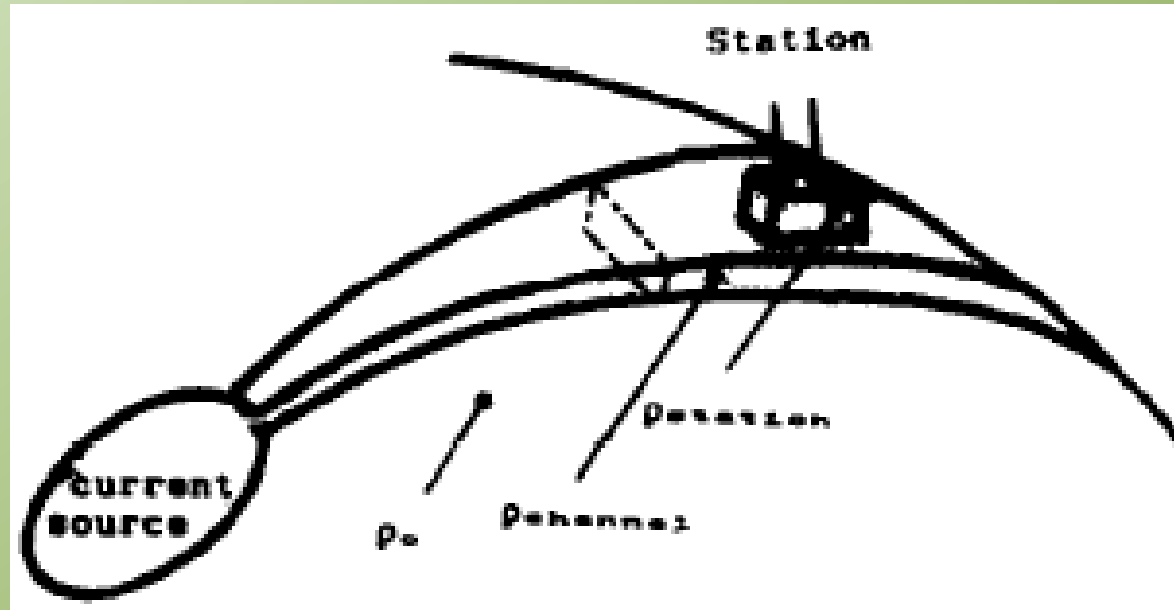
P. Varotsos, K. Alexopoulos and M. Lazaridou, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on Seismic Electric Signals II, Tectonophysics 224, 1-37 1993.

- Προσεισμικά ηλεκτρικά σήματα (Seismic Electric Signals, SES)
- Μηχανισμός γέννησης μέσω επαναπροσατολισμού διπόλων που οφείλονται σε πλεγματικές ατέλειες στα ιοντικά στερεά που συνιστούν τον στερεό φλοιό της Γης



Schematic diagram of the physical model proposed for the SES generation. (a) Before an EQ, the stress σ gradually increases in the focal area versus the time t towards reaching a critical value σ_{cr} . (b) When σ reaches σ_{cr} a transient electric signal is emitted that constitutes an SES. (c) Random orientation of the electric dipoles at small stress. (d) Partial orientation at an intermediate stress $\sigma (< \sigma_{cr})$. (e) Cooperative orientation of the electric dipoles when $\sigma = \sigma_{cr}$.

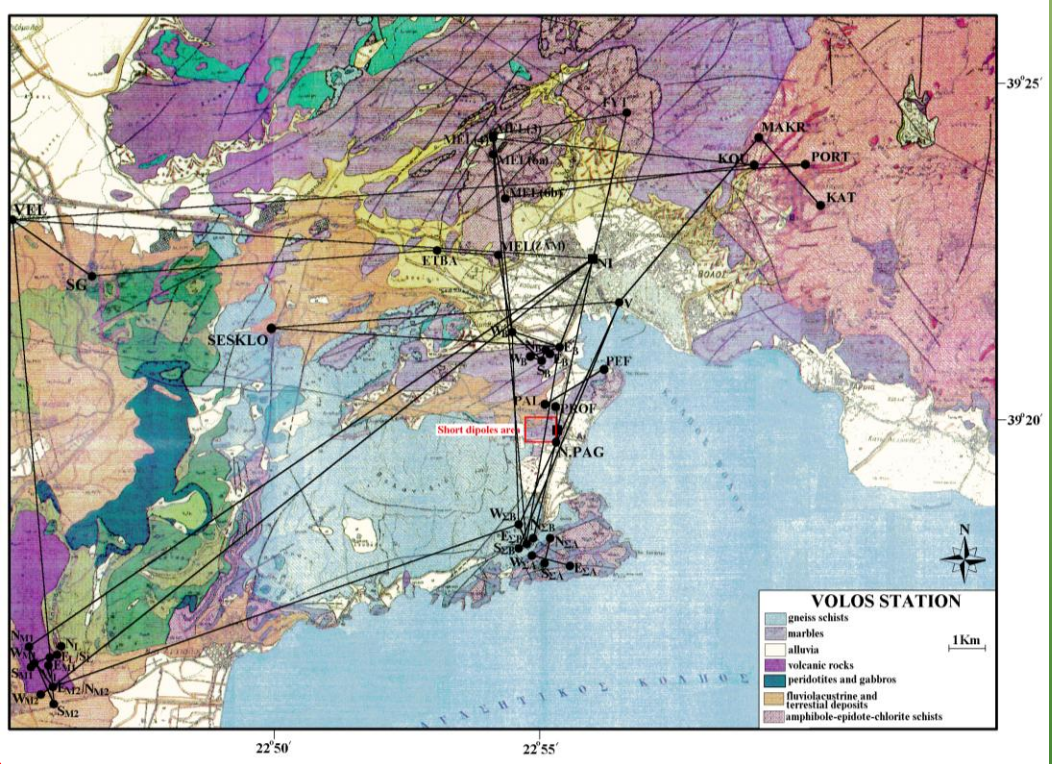
Τα SES μεταδίδονται από τη σεισμογενή περιοχή στον σταθμό BAN μέσω αγώγιμων δρόμων που υπάρχουν στον στερεό φλοιό της Γης



Plausible explanation of the selectivity phenomenon on the basis of a model of piezo-stimulated currents. The current density is enhanced at a channel (e.g. a sufficiently wet path) which has a resistivity appreciably smaller than that of the surroundings. The electric field is larger along the outcrop of this conductivity channel and is again amplified at a high resistivity anomaly lying along this outcrop. This resistivity anomaly is the correct place for the location of a station ($\rho_{station} > \rho_{channel}$) sensitive to those epicenters that correspond to the “current source” depicted in the figure.

P. Varotsos, K. Alexopoulos and M. Lazaridou, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on Seismic Electric Signals II, Tectonophysics 224, 1-37 1993.

Σεισμός Mw6.5 της Σκύρου (26-7-2001)-Καταγραφικός σταθμός Βόλου



Σεισμός Mw6.5 της Σκύρου (26-7-2001)-Επίκεντρο του σεισμού

316

7. Identifying the Occurrence Time of an Impending Mainshock

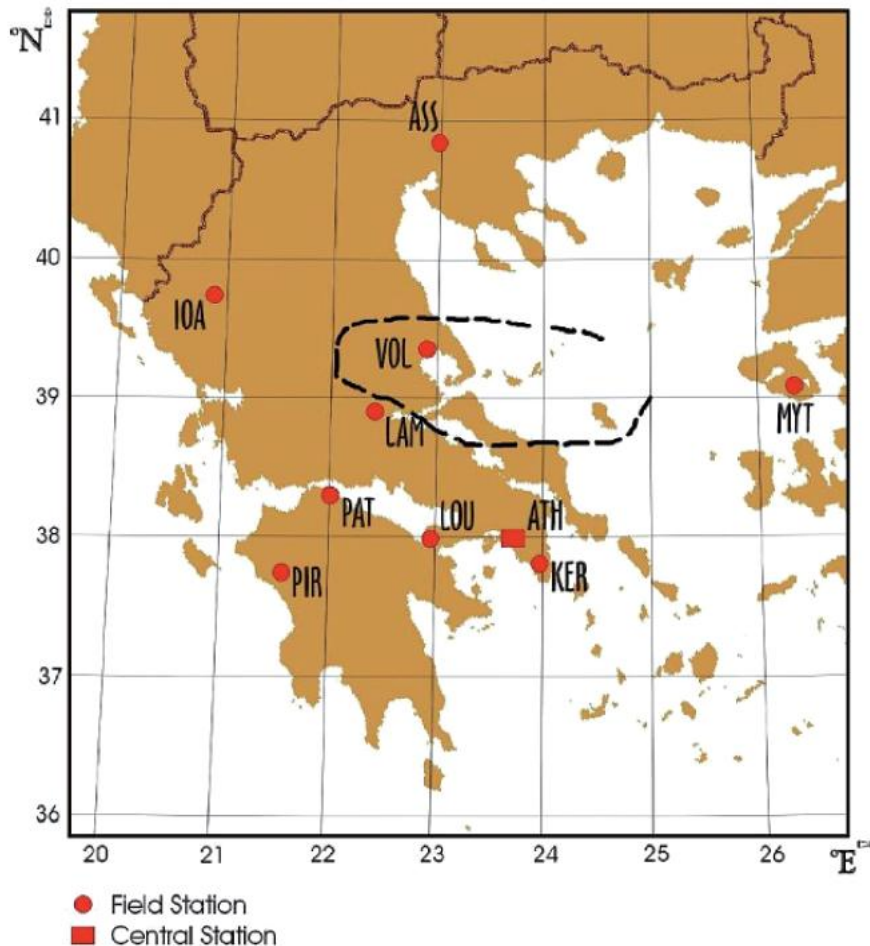
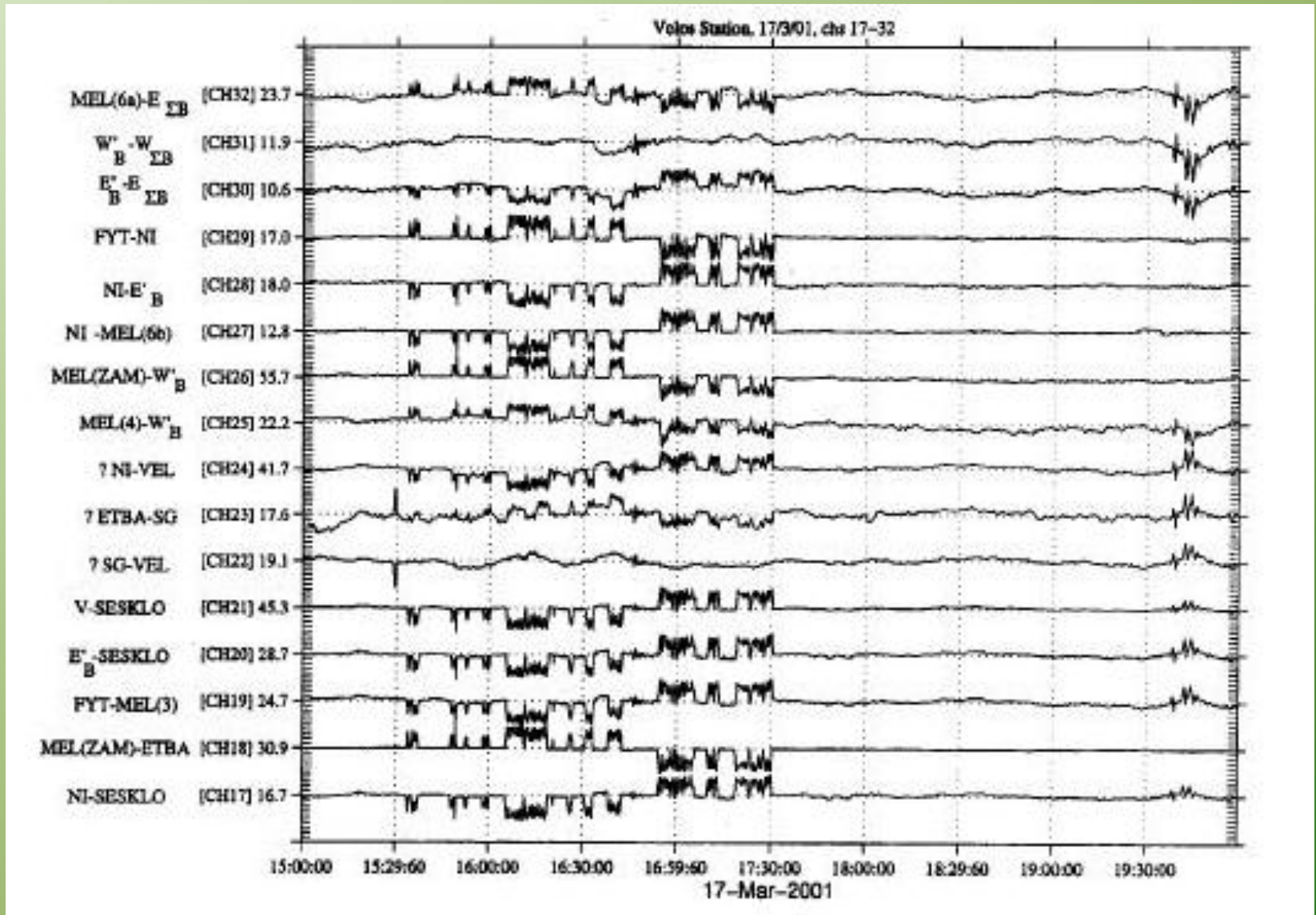


Fig. 7.18 The area 'bordered' by the broken curve (surrounding VOL) was the predicted area in Ref. [41] for the epicenter of the impending EQ related to the SES activity depicted in Fig. 7.17(a). Taken from Ref. [41].

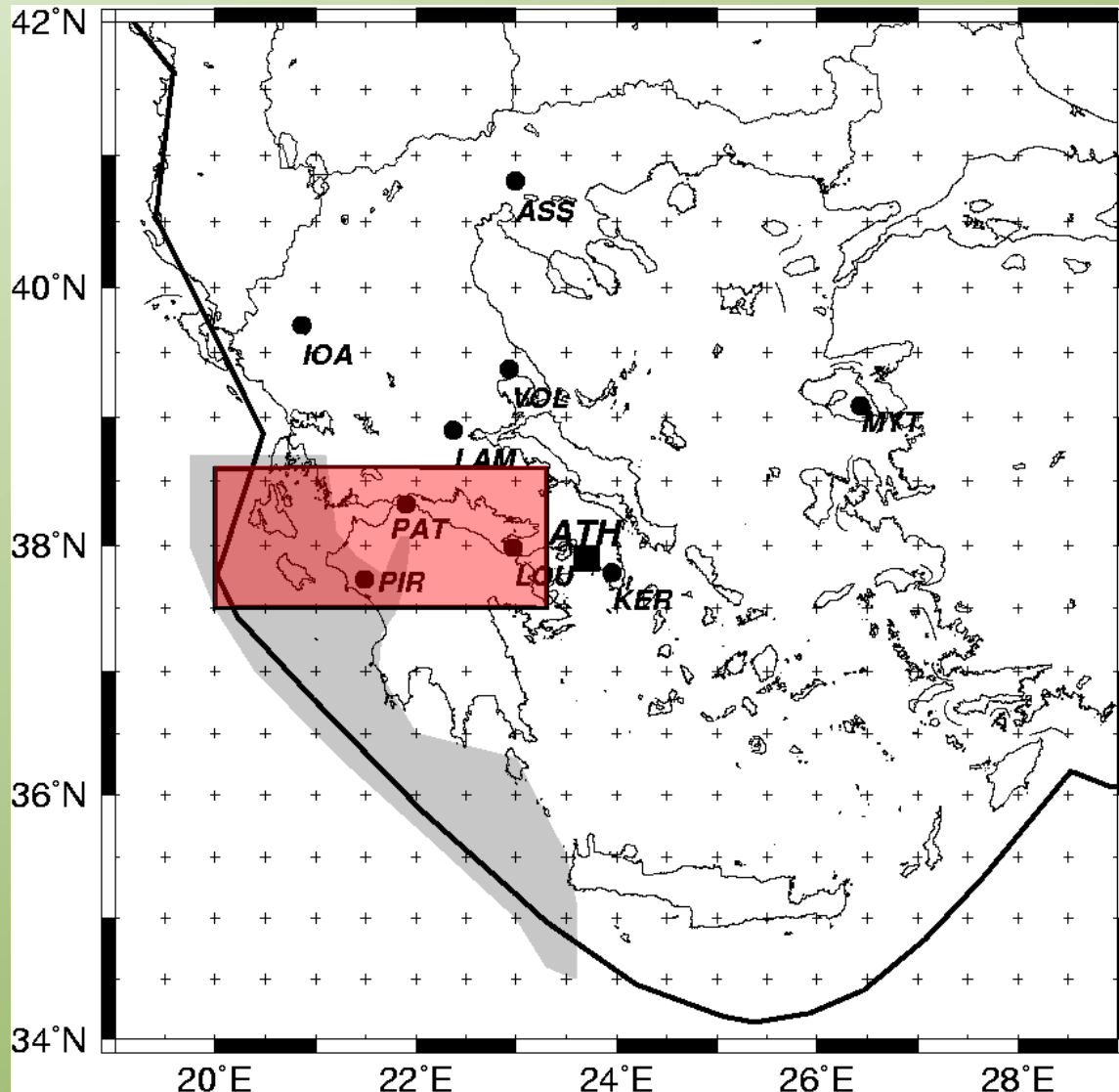
Varotsos P.A., Sarlis N.V. and Skordas E.S., Natural Time Analysis: The new view of time. Precursory Seismic Electric Signals, Earthquakes and other Complex Time-Series (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg) 2011.

Σεισμός Mw6.5 της Σκύρου (26-7-2001)-Το SES που προηγήθηκε



P. Varotsos, N.Sarlis, and E. Skordas, A note on the spatial extent of the Volos SES sensitive site, Acta Geophys. Pol. 49, 425-435, 2001.

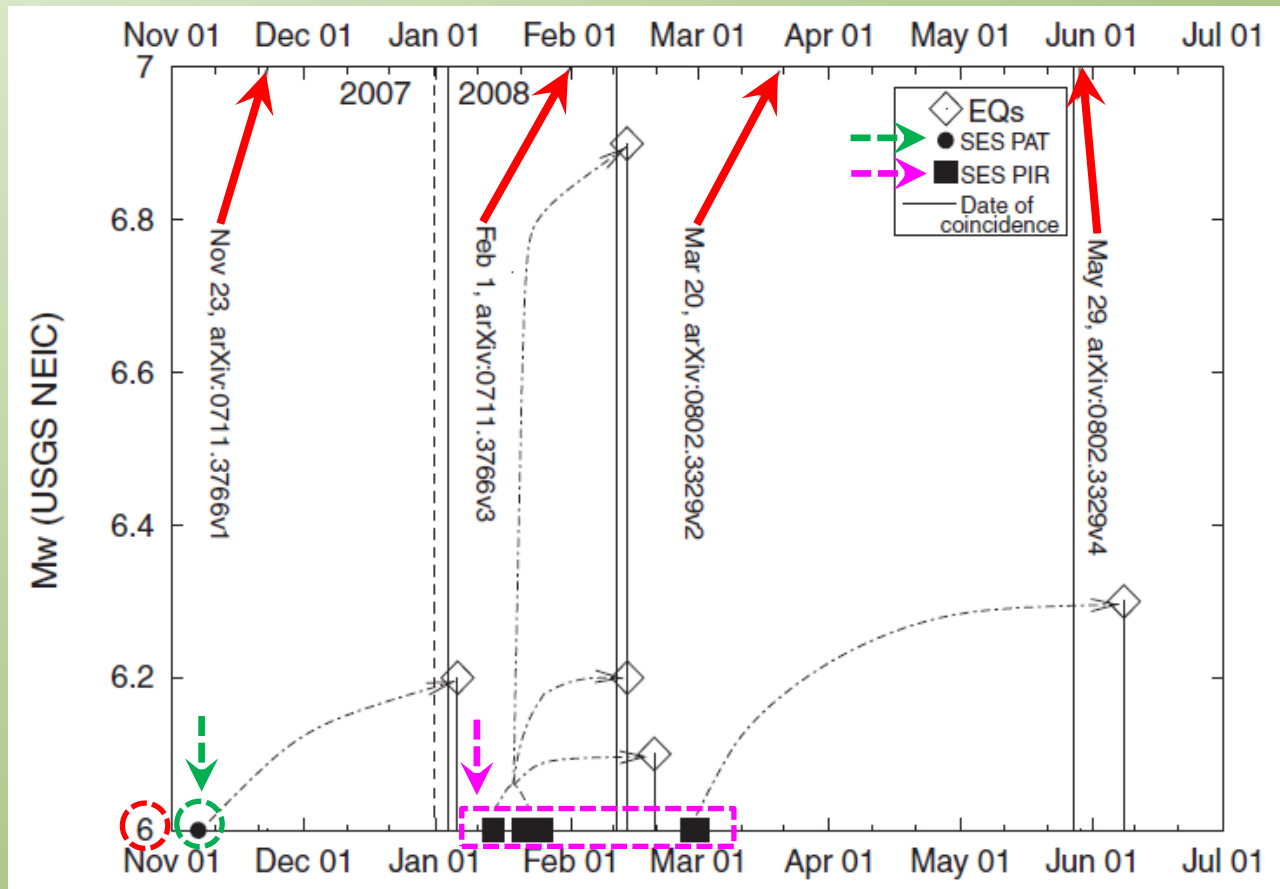
Επιλεκτικότητα καταγραφής των SES στους σταθμούς BAN



The occurrence of two major EQs (Jan. 8, 2006 and Feb. 14, 2008), lead to an updated **selectivity map of PIR as shown by the grey-shaded area** in the Figure which lies along the Hellenic arc (thick solid line). **Rectangle red-colored area refers to the selectivity map of PAT.** A further study of the imminent seismicity is now in progress in order to confirm and further clarify this finding.

N.V. Sarlis, E.S. Skordas, M.S. Lazaridou, and P.A. Varotsos, Investigation of the seismicity after the initiation of a Seismic Electric Signal activity until the main shock, Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, 84, 331-343, 2008.

Καταγραφή των SES και πρόγνωση-Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα



Συσχέτιση ανάμεσα στα SES, τελείες (σταθμός Πάτρας) και τετράγωνα (σταθμός Πύργου) στον x-άξονα (συμβατικός χρόνος) με τα σεισμικά γεγονότα (κατακόρυφες γραμμές που τελειώνουν σε ρόμβους) του y-άξονα.

Οι κατακόρυφες μαύρες γραμμές είναι οι ημερομηνίες μετά από τις οποίες, σύμφωνα με την ανάλυση στον φυσικό χρόνο, αναμένεται ισχυρός σεισμός στην περιοχή επιλεκτικότητας των σταθμών BAN που έγραψαν τη σχετική δραστηριότητα SES. Τα συνεχή κόκκινα βέλη δείχνουν τις ημερομηνίες στις οποίες οι δραστηριότητες SES ανακοινώθηκαν σε προδημοσίευση σε σχετική διεθνή βάση (arxiv.org).

N.V. Sarlis, E.S. Skordas, M.S. Lazaridou, and P.A. Varotsos, Investigation of the seismicity after initiation of a Seismic Electric Signal activity until the main shock, Proc. Jap. Acad., Ser. B, 84, 331-343, 2008.

NEWS

The Prediction of Two Large Earthquakes in Greece

The VAN experimental method of short-term earthquake prediction (named after the initials of three Greek physicists, Panayiotis Varotsos, Kessar Alexopoulos, and Konstantine Nomicos) has been used to monitor preseismic electric signals since the 1980s [see *Varotsos, 2005*]. From observed telluric current signals, called seismic electric signals (SES), the epicentral area, magnitude, and occurrence time of an impending earthquake are estimated. SES are interpreted as having been emitted when the focal region in which the earthquake in question could occur has entered the critical regime (i.e., a stage close to the rupture).

The VAN method recently reached the stage of possibly enabling the narrowing of the time window of earthquake prediction to the order of a few days. This narrowing is made possible by the use of a new method called "natural time analysis." This analysis has been developed to identify the time when a dynamic system (i.e., a system evolving with time) exhibits behavior similar to a phase change [*Varotsos et al., 2008*, and references therein]. On the hypothesis that the main shock earthquake is a critical phenomenon, when SES activity is observed, natural time analysis is conducted on the seismicities of small earthquakes in the suspected future epicentral area solely by considering their order of occurrence and the energy emitted by each of them. The term natural time analysis stems from the disregard of the conventional time of the earthquakes' occurrence. It has been found that such an analysis enables the identification of the time of the main shock usually within a few days before it occurs (see P. Varotsos et al., Seismic electric signals and $1/f$ "noise" in natural time, at <http://arxiv.org/abs/0711.3766>).

On 14 February 2008, a large earthquake (U.S. Geological Survey $M=6.9$) and its probable aftershock ($M=6.2$) occurred in the Ionian Sea close to the region of southwest-

ern Peloponnese, in Greece. The paper by P. Varotsos et al. (<http://arxiv.org/abs/0711.3766>), which appeared 2 weeks earlier (1 February 2008), reported that new electric signals were registered on 14 January at the Pirgos VAN electro-telluric station in western Greece, the earthquake for which, however, had not yet occurred. The report also indicated that on the basis of the recorded signal amplitude, the magnitude of the impending earthquake had been expected to be more than 6 and that the epicenter would be inside the area with coordinates 36.0° – 38.6° N, 20.0° – 22.5° E, i.e., approximately in a 250×260 square kilometer area in southwestern Peloponnese.

On 10 February 2008, an article on the front page of the Greek newspaper *Ethnos* announced that a magnitude 6 earthquake would occur imminently in the predicted area. Four days later, on 14 February, the two earthquakes occurred inside the expected area. The first one, the largest in Greece since 1983, was also felt in some adjacent countries. This was a case where prediction by the VAN method was documented in a scientific publication as well as in the public media well before the main shock occurred.

References

- Varotsos, P. (2005), *The Physics of Seismic Electric Signals*, TerraPub, Tokyo.
- Varotsos, P. A., N. V. Sarlis, E. S. Skordas, and M. S. Lazaridou (2008), Fluctuations, under time reversal, of the natural time and the entropy distinguish similar looking electric signals of different dynamics, *J. Appl. Phys.*, *103*, 014906, doi:10.1063/1.2827363.

—SEIYA UYEDA, Earthquake Prediction Research Center, Tokai University, Tokyo, Japan; and MASASHI KAMOGAWA, Department of Physics, Tokyo Gakugei University, Tokyo, Japan; E-mail: kamogawa@u-gakugei.ac.jp



IN THIS ISSUE: Meetings: Theory and Practice of Hydrologic Science, Pg. 364
Book Reviews: Exploring Geology, Pg. 366
About AGU: Outstanding Student Paper Awards, Pg. 368

VOLUME 89 NUMBER 39 23 SEPTEMBER 2008

Οι επιτυχείς προγνώσεις της ομάδας BAN συζητήθηκαν εκτενώς και στην εβδομαδιαία επισκόπηση EOS της Αμερικανικής Γεωφυσικής Ένωσης (AGU) όπου και ανακοινώθηκε η επιτυχής πρόγνωση 2 ισχυρών σεισμών στην Ελλάδα



Σιμσερίδης Κώστας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρητική Φυσική Συμπυκνωμένης Ύλης

Περιοχές Έρευνας

- **Βιοφυσική:** Μεταβίβαση/μεταφορά φορτίου σε νουκλεϊκά οξέα/οργανικά συστήματα. Μοριακή Δομή
- **Βιοϋλικά:** Καινοτόμα ολιγομερή και πολυμερή βασισμένα σε βιοστοιχεία.
- **Κβαντική Οπτική:** Συνοχή. Οπτικές ιδιότητες κβαντικών τελειών κλπ, με/χωρίς μαγνητικό πεδίο.
- **Ημιαγωγικές νανοδομές:** χωρίς/με μαγνητικές προσμίξεις (θερμοδυναμική, σπιντρονική, μεταφορά)

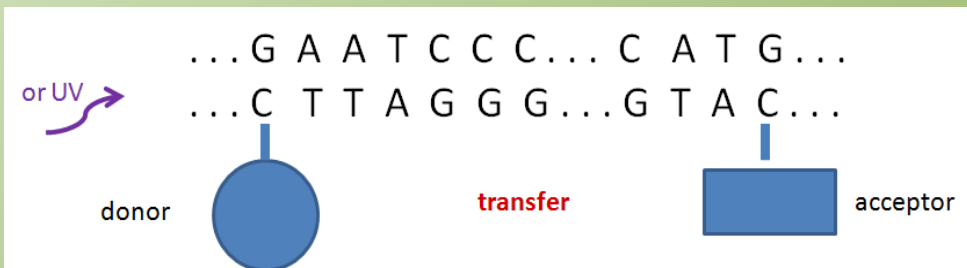
Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια

- Φυσική IV (10ΥΚΟ04, Θεωρία)
- **Καταστάσεις και Ιδιότητες της Ύλης (10ΕΛΕ05, Θεωρία)**
 - **Κβαντική Οπτική και Lasers (10ΥΚ501, Θεωρία)**
- Βασικό Εργαστήριο Φυσικής I (10ΥΚΟ05, Εργαστήριο)
- Βασικό Εργαστήριο Φυσικής III (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)
- **Εργαστήριο Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΕΚΑ01, Εργαστήριο)**

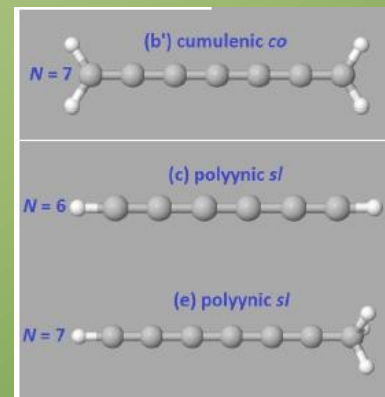
Μεταβίβαση (transfer) και μεταφορά (transport) φορτίου

Ατομικά σύρματα βιοστοιχείων (C, N, O κλπ) και βιοπολυμερή (DNA, RNA)

Transfer: a carrier, created, e.g. by oxidation or reduction at a site, moves, time passing, to more favorable sites, **without external bias**

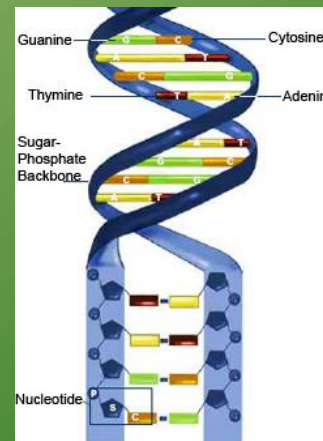
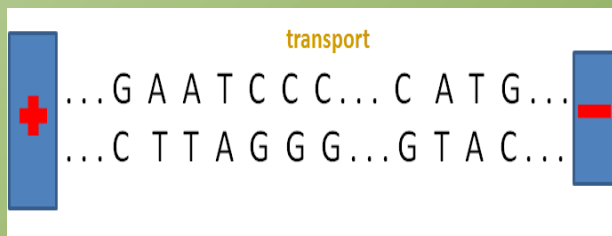


Atomic carbon wires or carbynes (cumulenic, polyynic)



Nucleic acids (DNA, RNA)
[crucial for life, nanoscientific applications]

Transport: external bias between electrodes



Methods: Analytical and numerical Tight Binding variants, Density Functional Theory (DFT) related methods as Real-Time Time-Dependent DFT

Σιμσερίδης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέρος Α

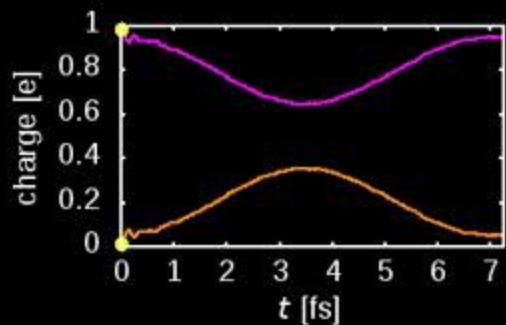
- **Μεταβίβαση φορτίου**

*Νουκλεϊκά οξέα και οργανικά συστήματα. Βιοϋλικά.
Καινοτόμα oligομερή/πολυμερή βασισμένα σε βιοστοιχεία*

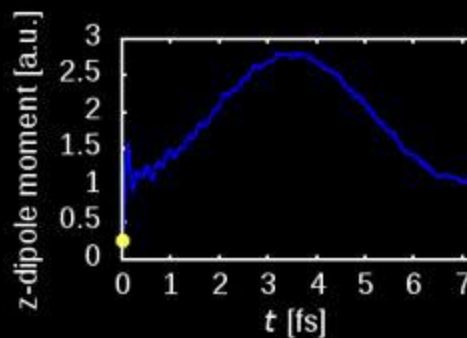
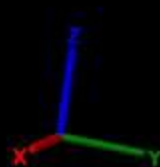
- **Μεταφορά φορτίου**

*Νουκλεϊκά οξέα και οργανικά συστήματα. Βιοϋλικά.
Καινοτόμα oligομερή/πολυμερή βασισμένα σε βιοστοιχεία*

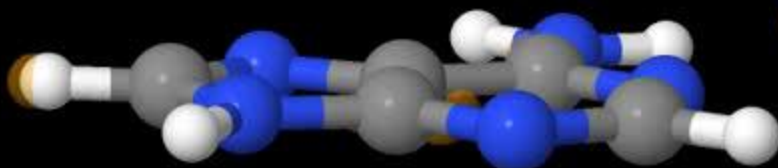
Dimers (Guanine-Cytosine Adenine-Thymine) (RT-TDDFT)



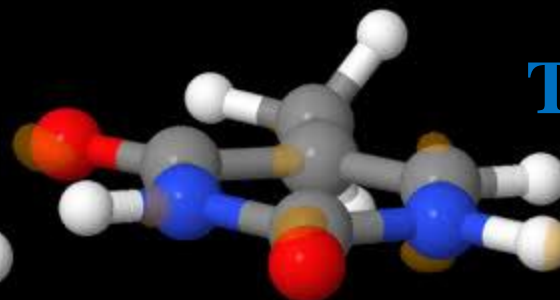
Hole density



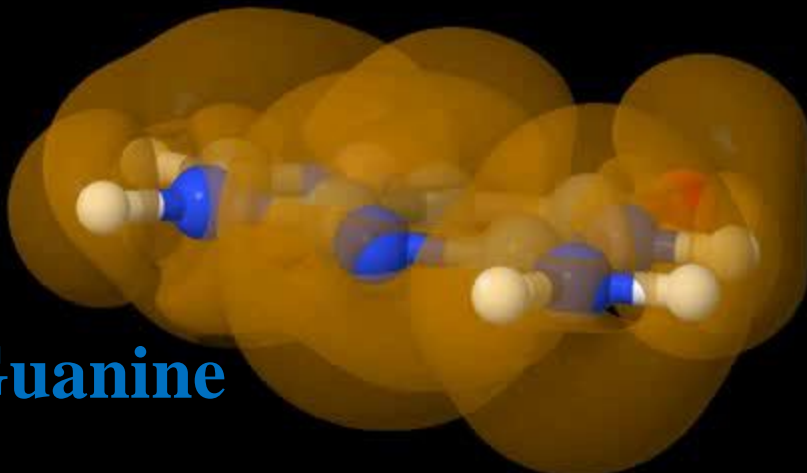
Adenine



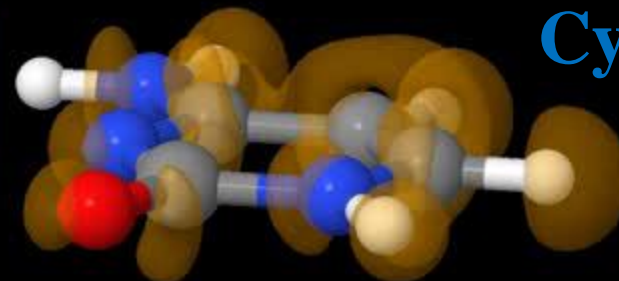
Thymine



Guanine



Cytosine

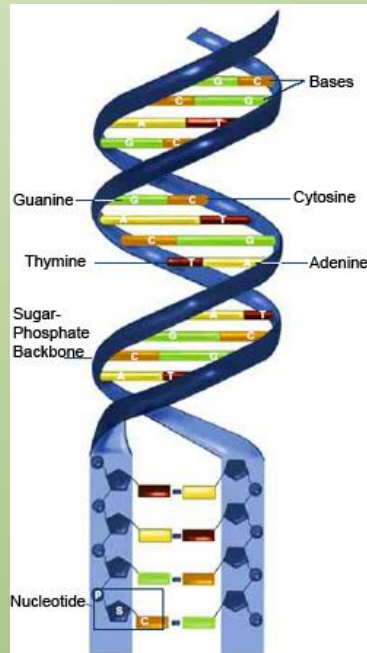


t = 0.00 fs

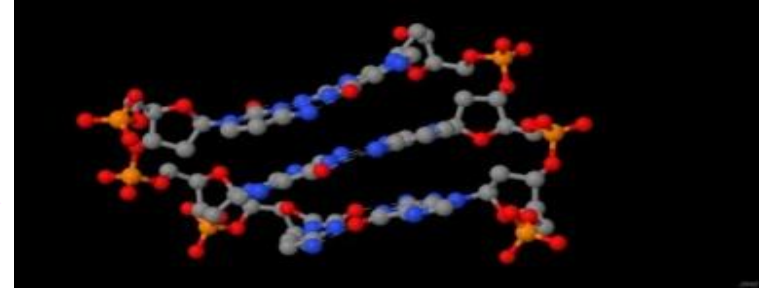
$$p = \frac{(2t)^2}{(2t)^2 + \Delta^2} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{(2t)^2 + \Delta^2}}{h}$$

Real-Time Time-Dependent DFT

Trimers (DNA, RNA)

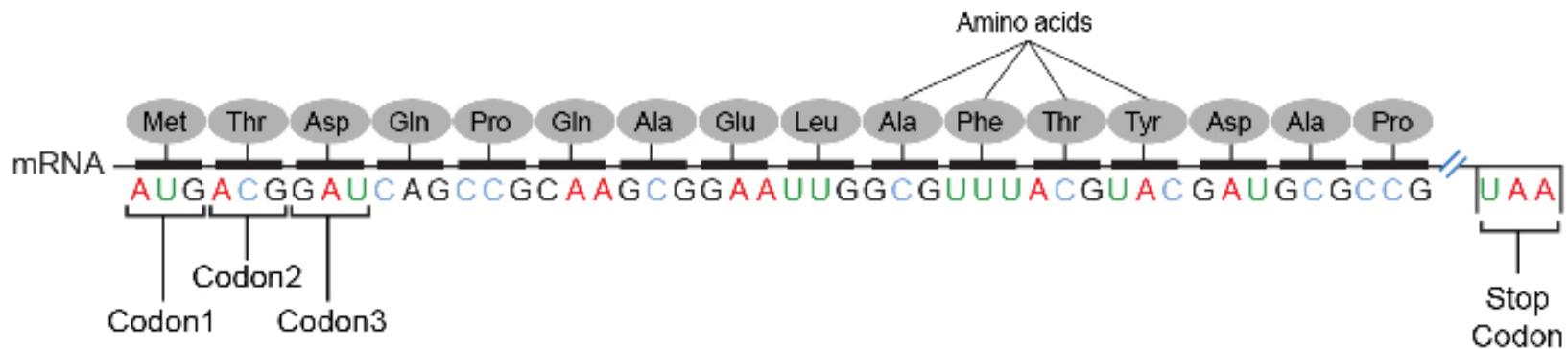


- carbon
- nitrogen
- oxygen
- phosphorus
- (hydrogen)



32 DNA trimers (“triplets”):

**RNA (single-stranded): 64 trimers => 64 codons
(triplets coding amino acids, which construct proteins)**



Σιμσερίδης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέρος Α

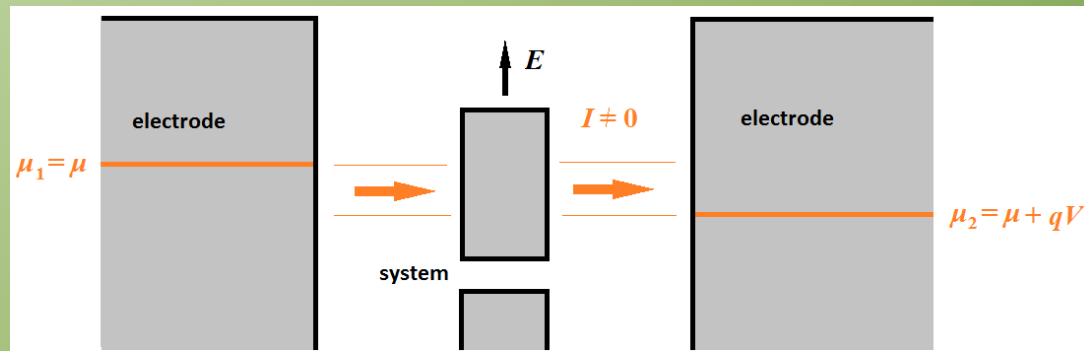
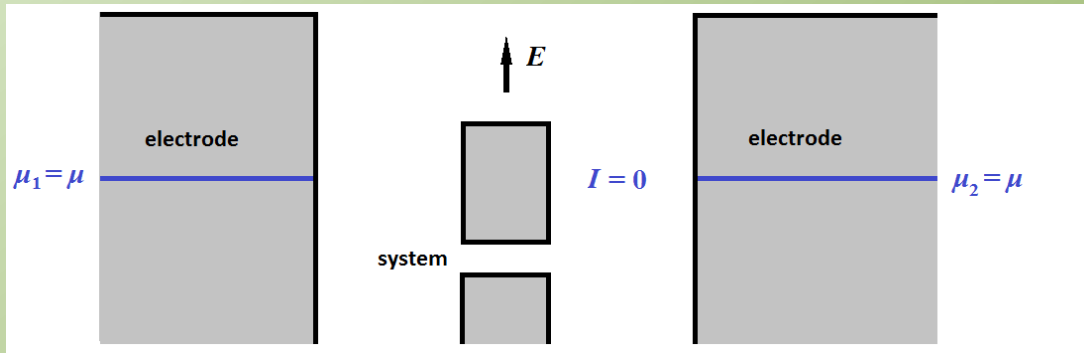
- **Μεταβίβαση φορτίου**

*Νουκλεϊκά οξέα και οργανικά συστήματα. Βιοϋλικά.
Καινοτόμα oligομερή/πολυμερή βασισμένα σε βιοστοιχεία*

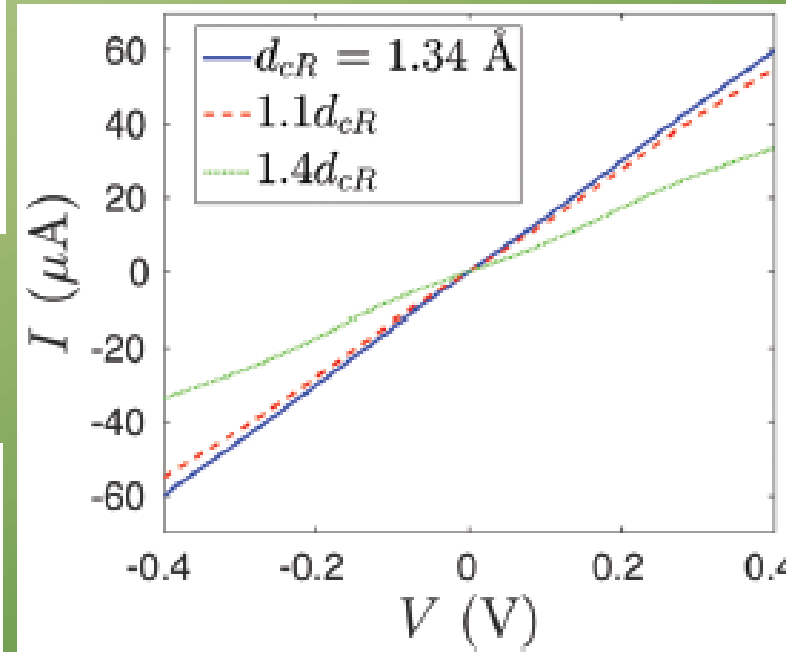
- **Μεταφορά φορτίου**

*Νουκλεϊκά οξέα και οργανικά συστήματα. Βιοϋλικά.
Καινοτόμα oligομερή/πολυμερή βασισμένα σε βιοστοιχεία*

Quantum Transport



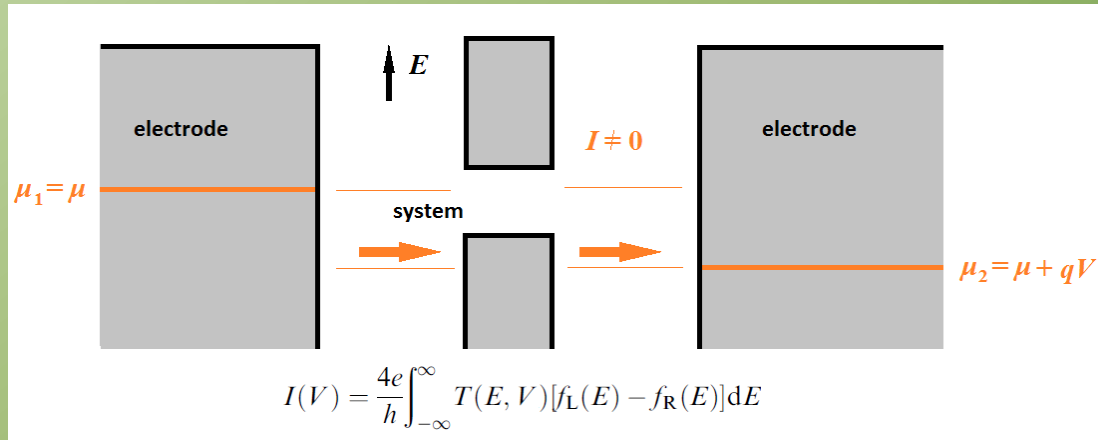
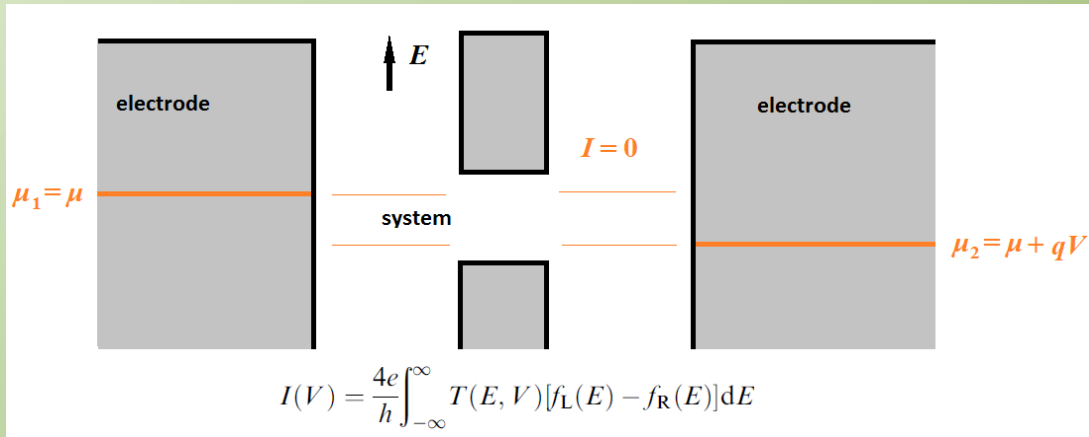
Carbynes cumulenic



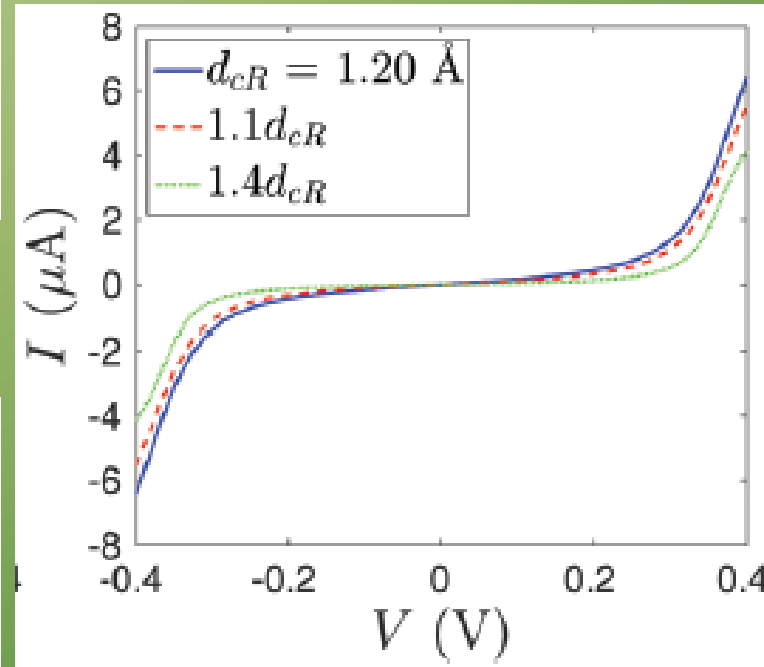
Landauer-Büttiker

$$I(V) = \frac{4e}{h} \int_{-\infty}^{\infty} T(E, V) [f_L(E) - f_R(E)] dE$$

Quantum Transport



Carbynes polyynic



Transport in carbynes - Experimental results

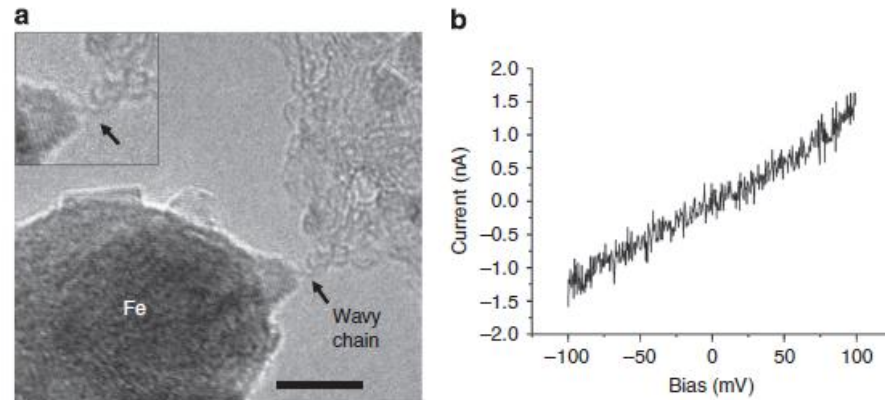


Figure 3 | Wavy carbon chain. (a) shows the TEM image and (b) the corresponding current-voltage curve. The wavy shape indicates vanishing strain. The current-voltage curve is linear, corresponding to ohmic conductivity (see also Fig. 6). Scale bar, 5 nm.

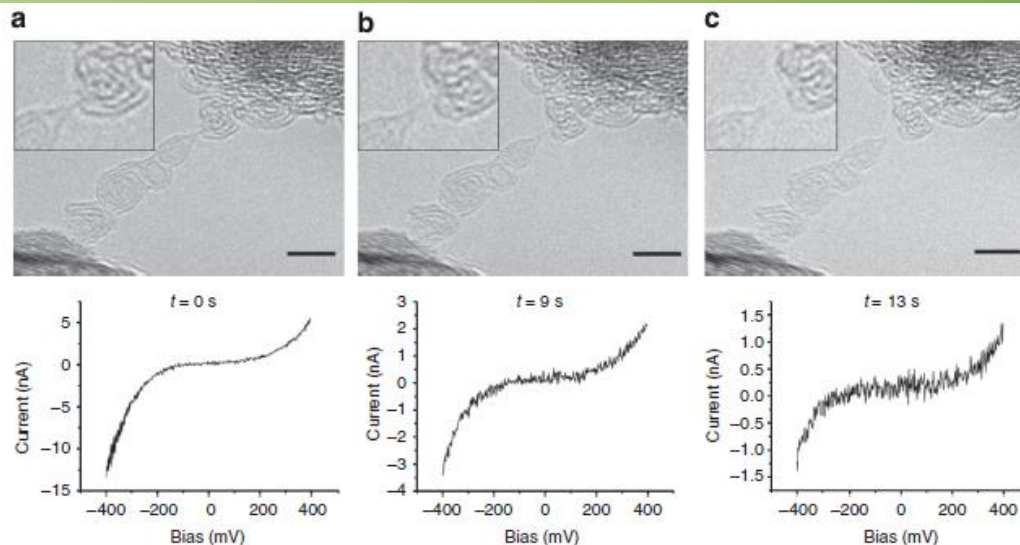
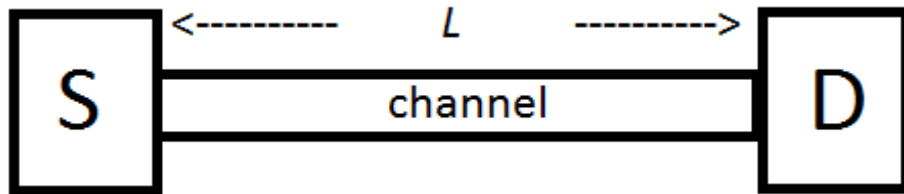


Figure 1 | Transmission electron microscopy (TEM) images and corresponding current-voltage curves of a strained carbon chain. The temporal evolution of a carbon chain between two graphitic contacts is shown; (a) at an arbitrary time zero; (b) after 9 s; (c) after 13 s. See also the Supplementary Movie. The corresponding current-voltage curves illustrate qualitatively the same semiconducting behaviour, although with a decreasing conductivity from a to c. Scale bars, 2 nm.

Applications in Nanoelectronics

laptop, smartpone, in area $\approx 3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$,
 10^9 nanotransistors,
 each $\approx 1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$

“The smaller you make it, the more you can pack into a single chip”



L channel length

10 μm

1 μm 1984

0.1 μm

10 nm 2014 (for lattice parameter $a = 0.5 \text{ nm}$, ≈ 20 atoms)

1 nm

0.1 nm atom radius ($\approx 30 \text{ pm}$ to 300 pm)

channels become shorter maybe use polymers, oligomers, molecules ...

are there **stiff enough** polymers?

YES (DNA, Carbynes, ...)

Βιοφυσική-Εφαρμογές στη διάγνωση (γενετικών ασθενειών)

Μεταβίβαση και μεταφορά φορτίου σε φυσικές ακολουθίες νουκλεϊκών οξέων σχετιζόμενες με το γενετικό υλικό και ασθένειες

single-stranded microRNAs
autism spectrum disorders

telomeric sequences

TTAGGG... TAGGGT... AGGGTT... GTTAGG...

relative to Huntington disease

TTC(CAG)_nCAACAGCCGCCACCGCCGCCGCCGCCGCCGCCGCC
CGCCTCCTCAGCTTCCTCAGCCGCCGCCGCCGCAGGCACAGC
CGCTGCTGCCTCAGCCGCAGCCGCCCGCCGCCGCCGCCGCC
CGCCGCC

bacteriophage λ-DNA sequence ...

<http://www.bioinformatics.org/p53/nucleotide.html>

ID	Sequence	Group
559	UAAAGUAAAUAUGCACCAAAA	I
455-3p	GCAGUCCAUGGGCAUAUACAC	II
484	UCAGGCUCAGUCCCCUCCCGAU	II
486-3p	CGGGGCAGCUCAGUACAGGAU	III
193b	AACUGGGCCUCAAGUCCCGCU	III
486-5p	UCCUGUACUGAGCUGCCCGAG	III
212	UACAGUCUCCAGUACGGCC	III
106b	UAAAGUGCUGACAGUGCAGAU	III
132	UACAGUCUACAGCCAUGGUCG	III
652	AAUGGGCGCCACUAGGGUUGUG	IV
106a	AAAAGUGCUCUACAGUGCAGGUAG	IV
320a	AAAAGCUGGGUUGAGAGGGCGA	IV
128	UCACAGUGAACCGGUCUCUUU	V
148b	UCAGUGCAUCACAGAACUUUGU	V
381	UAUACAAGGGCAAGCUCUCUGU	V
431	UGUCUUGCAGGCCGUCAGCA	V
15b	UAGCAGCACAUCAUGGUUACA	V
539	GGAGAAUUAUCCUUGGUGUGU	V
21	UAGCUUAUCAGACUGAUGUGA	V
15a	UAGCAGCACAUAUUGGUUUGU	V
27a	UUCACAGUGGCUAAGUUCGCC	V
23a	AUCACAUUGCCAGGGAUUUC	V
95	UUCAACGGGUUUUUUUUGAGCA	V
93	CAAAGUGCUGUUCGUGCAGGUAG	V
432	UCUUGGAGUAGGUCAUUGGGUGG	V
181d	AACAUUCAUUGUUGUCGGUGGGU	V
7	UGGAAGACUAGUGAUUUUGUUGU	V

ID	Seq length	Organism	Description
X02469	1317 bp	Homo sapiens (human)	mRNA for p53 cellular tumor antigen
L20442	2184 bp	Macaca mulatta (rhesus monkey)	p53 mRNA, complete cds
X81704	1161 bp	Bos taurus (cow)	p53 mRNA
U60804	2105 bp	Danio rerio (zebrafish)	tumor suppressor p53 (p53) mRNA
AF060514	1174 bp	Canis familiaris (dog)	p53 protein (p53) mRNA
X13057	1555 bp	Gallus gallus (chicken)	mRNA for nuclear oncoprotein p53
AF098067	1163 bp	Sus scrofa (pig)	tumor suppressor p53 (p53) mRN



Σκορδάς Ευθύμιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Φυσική του στερεού φλοιού της Γης
- Θερμοδυναμική συστημάτων μακράν της ισορροπίας
- Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων σε ανομοιογενή μέσα
 - Φυσική πολύπλοκων συστημάτων
- Θερμοδυναμική πλεγματικών ατελειών

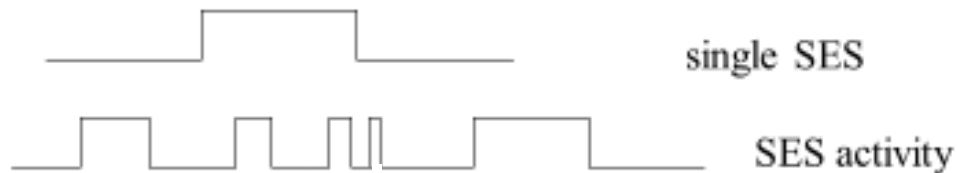
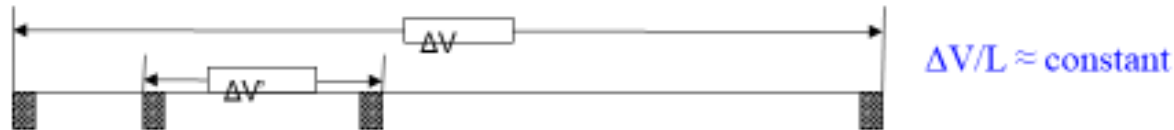
**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Φυσική του Στερεού Φλοιού της Γης (10ΕΚ511, Θεωρία)**
 - Φυσική II (10ΥΚΟ02, Θεωρία)
- Βασικό Εργαστήριο Φυσικής ΙΙΙ (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)

Seismic Electric Signals (SES)

(VAN method, 1981)

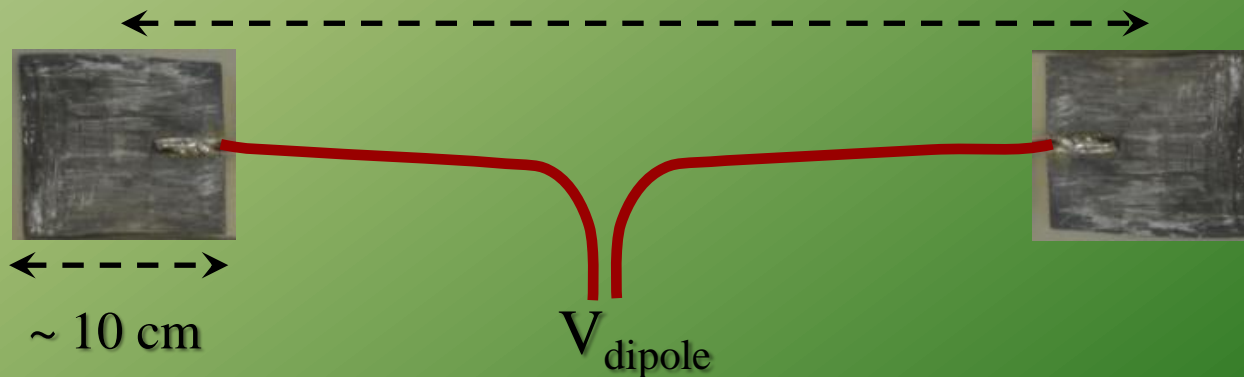
1. We measure *both* the electric field and the magnetic field $\leq 1\text{Hz}$
2. Several measuring dipoles (pairs of electrodes at a depth $\sim 2\text{ m}$)
 $L \approx$ a few tens of meters (short dipoles)
to a few tens of kilometers (long dipoles)



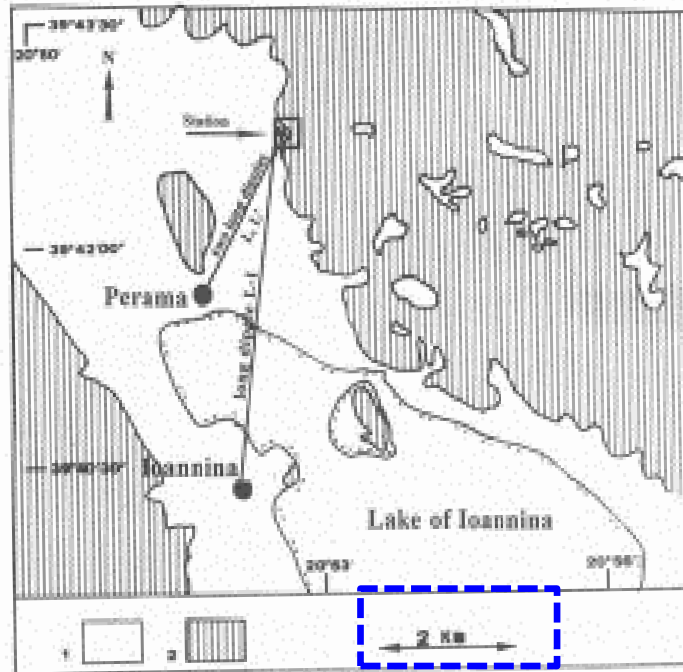
Τυπικό ηλεκτρόδιο μολύβδου



Length of the dipoles: from tens of meters to tens of kilometers

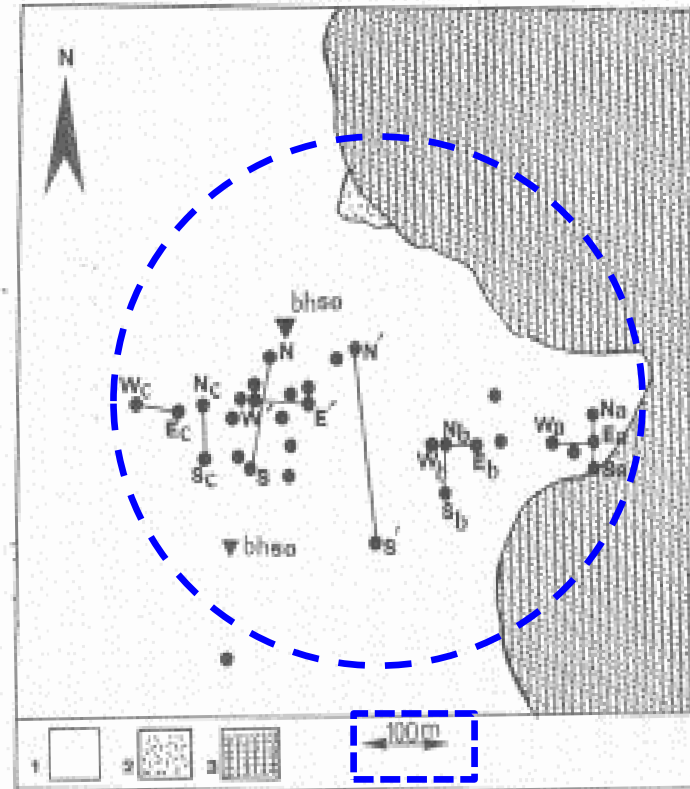


Παράδειγμα διάταξης διπόλων σε σταθμό (Ιωάννινα)



Μεγάλα δίπολα

2a. Long dipoles; 1: quaternary sedimentary deposits; 2: alpine formation of the Ionian Unit (mainly limestones).

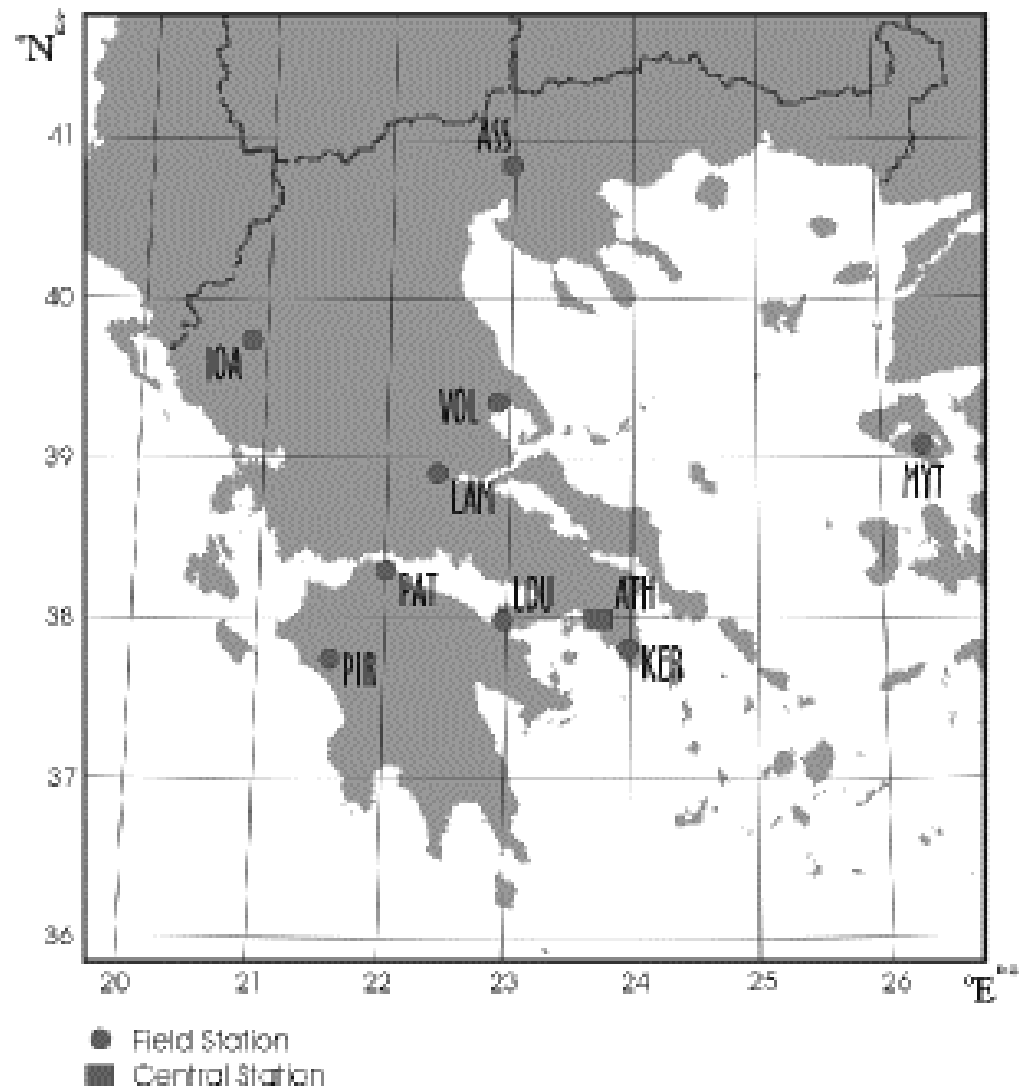


Μικρά δίπολα

2b. Short dipoles in the region of Fig. 2a shown by a square; 1: alluvial deposits; 2: flysch of the Ionian Unit; 3: limestones of the Ionian Unit. The triangles stand for the two boreholes (bh).

Η διάταξη των μικρών διπόλων είναι κάθετη:
Βορράς-Νότος & Ανατολή-Δύση

Σταθμοί τηλεμετρικού δικτύου



The solid circles mark the nine stations operating today.

Φυσικές ιδιότητες των SES

SES physical properties

since 1984, P. Varotsos & K. Alexopoulos *Tectonophysics* **110**, 73-125 (1984)

1. Sensitive points

SES are recorded *only* at certain sites of the Earth's surface detailed experimentation is necessary.


2. Selectivity

...Each sensitive site records SES *only* from certain seismic areas (selectivity map)

3. For a given pair: "SES station – seismic region":

$$\frac{E_{EW}}{E_{NS}} = \text{const}$$

(polarity: constant)

(2) + (3)  epicentral determination

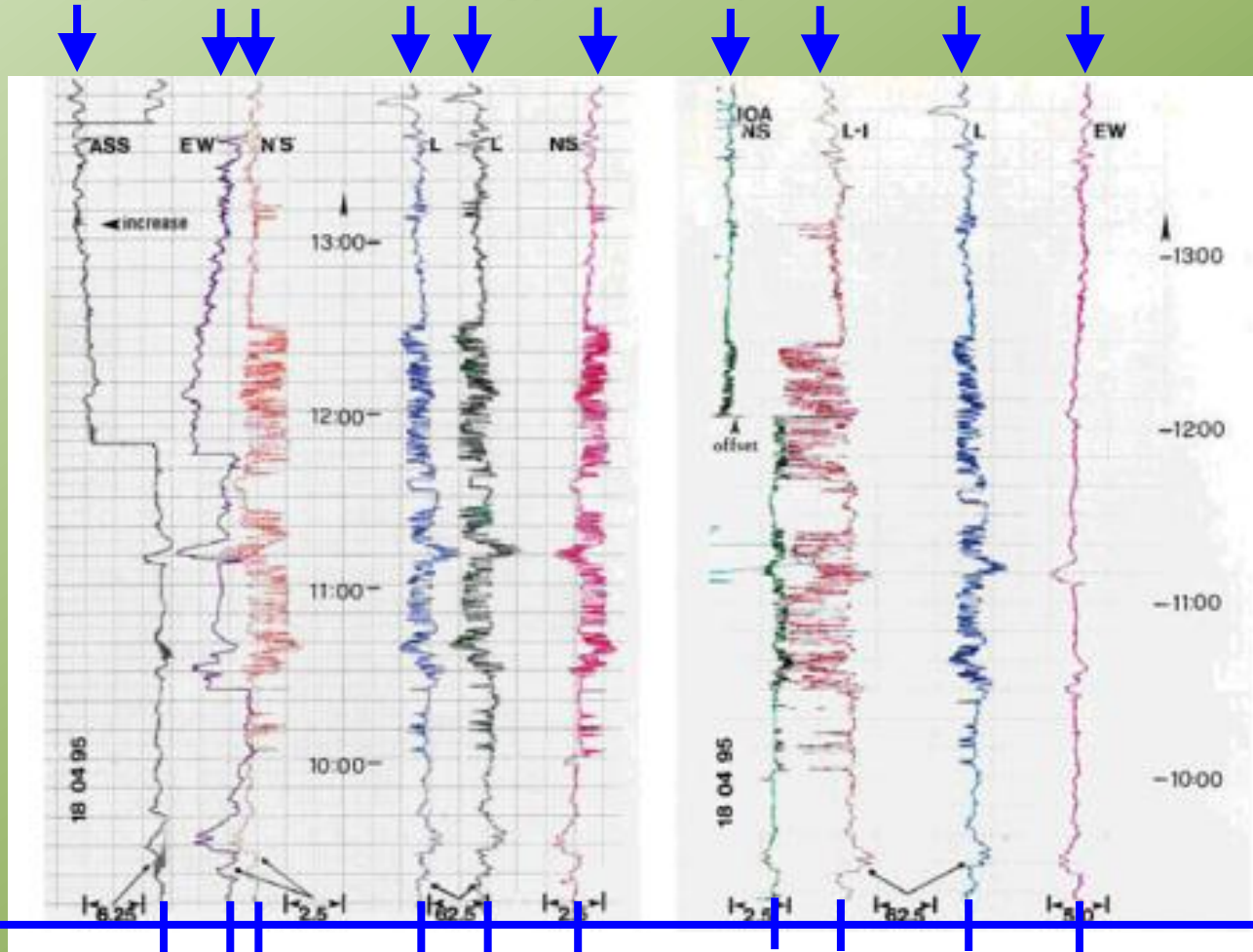
4.

$$\log \left(\frac{\Delta V}{L} \right) \approx (\underline{0.3 - 0.4}) M + \text{const}$$

which leads to the **determination of magnitude**

Αναλογικές καταγραφές από τον σταθμό Ιωαννίνων για τον σεισμό Γρεβενών-Κοζάνης (Μάιος 1995)

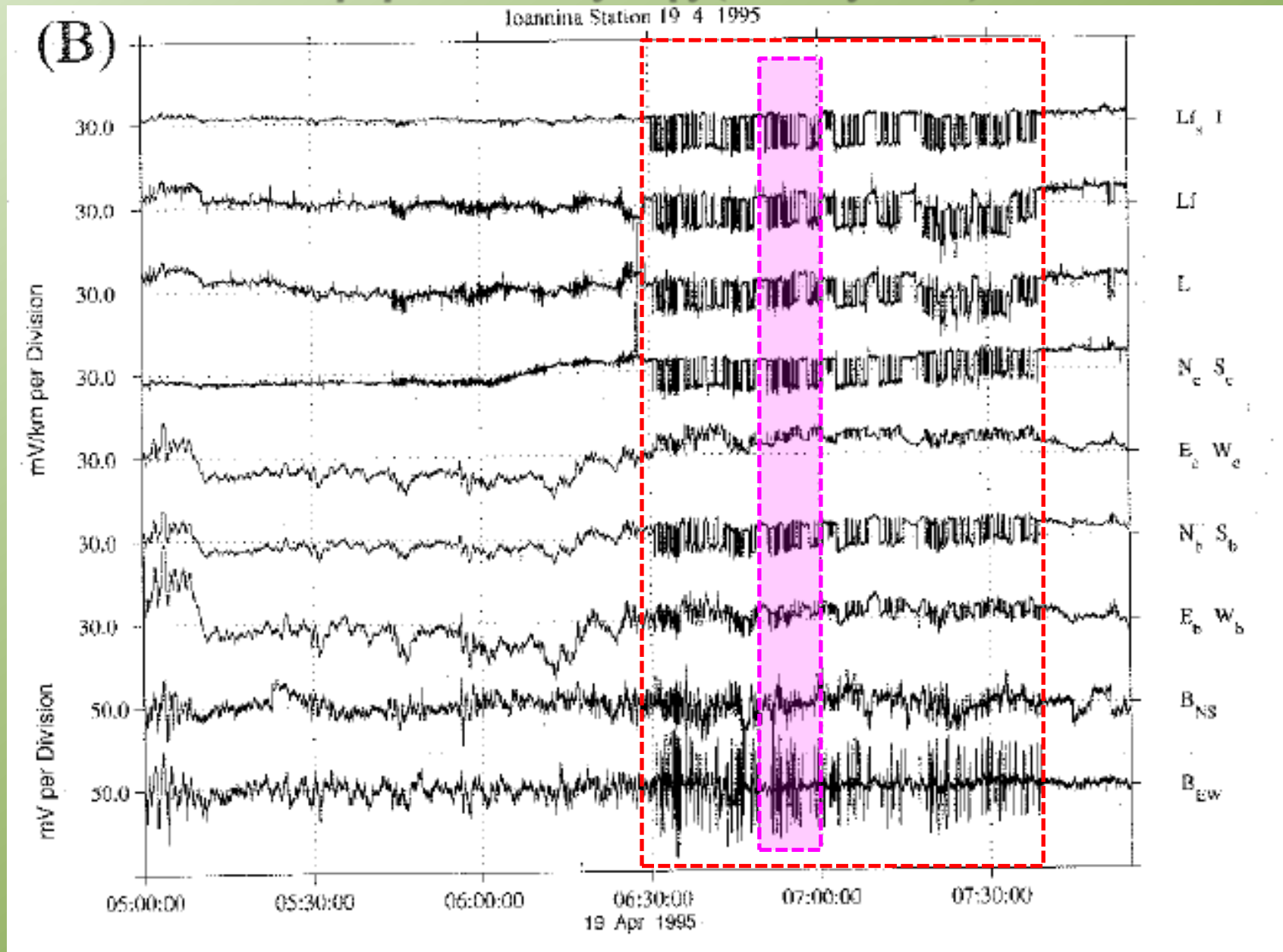
Κανάλια
Δίπολα



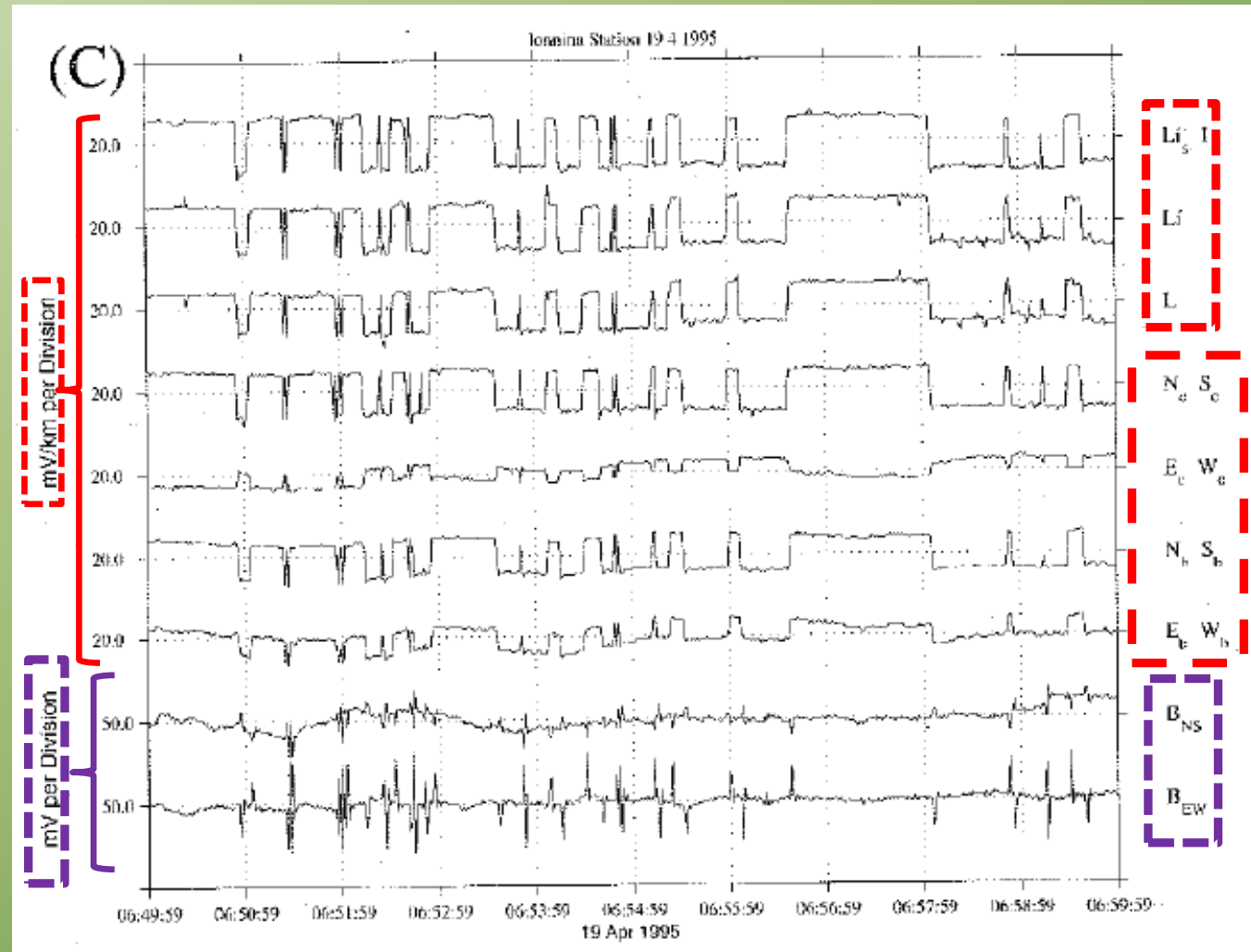
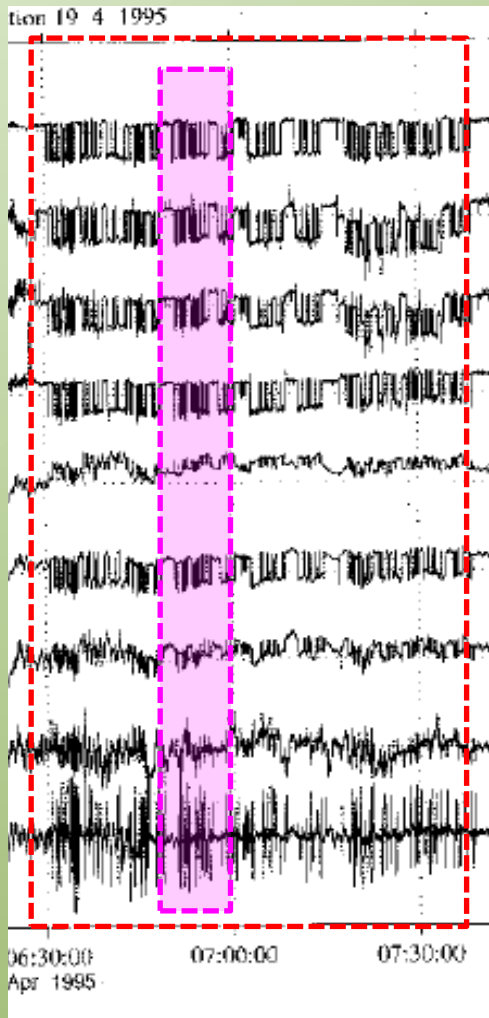
Διαφορά
δυναμικού

The preseismic electric signals (SES activity) at Ioannina station on April 18, 1995 recorded at dipoles of various orientations and lengths L

Ψηφιακές καταγραφές από τον σταθμό Ιωαννίνων για τον σεισμό Γρεβενών-Κοζάνης (Μάιος 1995)



Ψηφιακές καταγραφές από τον σταθμό Ιωαννίνων για τον σεισμό Γρεβενών-Κοζάνης (Μάιος 1995)



Ιδιότητα των SES που προέκυψε μετά τη μελέτη που δείχνει ότι για SES που καταγράφονται σε απόσταση ~100 km (πηγή-σταθμός) η ηλεκτρική συνιστώσα φτάνει κατά ~1 sec πριν από τη μαγνητική συνιστώσα

Οι μεταβολές του Ηλεκτρικού πεδίου **προηγούνται** των μεταβολών του Μαγνητικού πεδίου (...dB/dt):

$$\Delta t \propto r^2$$

π.χ., $\Delta t \approx 1 \text{ sec}$ για $r \approx 100 \text{ km}$



Maxwell's equations and earthquakes

An electromagnetic technique developed by physicists in Greece has an impressive record of predicting local earthquakes and is now being used further afield

From **Seiya Uyeda** and **Haruo Tanaka** in the Earthquake Prediction Research Center at Tokai University, Japan

Predicting earthquakes is one of the biggest challenges in modern earth science. Intermediate and long-term predictions, which involve timescales of between 1 and 100 years, are generally based on past records of seismic activity. Short-term earthquake prediction, on the other hand, is more deterministic and relies on the detection of precursory phenomena.

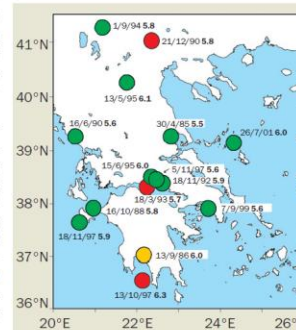
These phenomena are generally non-seismic, so seismologists use geodetic observations such as measurements of tilt and land deformation to predict when an earthquake might be about to take place. Satellite data from the Global Positioning System (GPS) will ultimately improve the accuracy of geodetic measurements, but reliable short-term earthquake prediction is currently very difficult.

An alternative approach is to use electromagnetic rather than seismic information. Since the 1980s Panayiotis Varotsos and co-workers at the University of Athens have been predicting earthquakes in Greece based on measurements of electric currents in the earth. Their method – which is called VAN after the initials of the Athens team – is based on the potential difference between electrodes that are buried at several sites. By continuously monitoring these voltages, the researchers have detected anomalous transient signals just before earthquakes that they call seismic electric signals (SES).

Indeed, since 1984 the VAN technique



Reliable, short-term predictions of earthquakes could reduce the devastation they cause.



1 Earthquake spotting – by detecting small changes in the Earth's electric field, researchers successfully predicted 11 earthquakes with

sudden slippages along faults or fractures in the Earth's crust. Varotsos and colleagues subscribe to the view that the rise of seismic activity in a region is a kind of phase transition, similar to the spontaneous magnetization of some materials. Seismic electric signals are generated when a region approaches an "electric" critical state that precedes the mechanical one.

The origin of the electromagnetic signals lies in electric dipoles that are formed due to point- and line-defects in the materials that make up the Earth's crust. The time it takes for the orientation of the dipoles to change, known as the relaxation time, depends on the mechanical stress level of the materials. The gradual increase of stress in the focal region of an earthquake leads to a decrease in the dipole relaxation time. At a certain point the dipoles switch from their initially random directions to one particular direction, which is determined by the particular stress state, emitting a transient electric signal in the process.

However, the seismic electric signals exhibit some puzzling behaviour. First, they travel much further – between 10 km and 100 km – than expected. Second, they are only detected at a limited number of observation sites, which suggests that they only travel through narrow, highly conducting paths. Now the Athens team has found that the long transmission distances can be explained if the source of the seismic electric signals and the observation site are both close enough to these conducting paths (P A Varotsos 2003 *Phys. Rev. Lett.* **91** 148501). Since earthquake faults are

Electric Fields that "Arrive" before the Time Derivative of the Magnetic Field prior to Major Earthquakes
P. A. Varotsos, N. V. Sarlis, and E. S. Skordas, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 148501 (2003)



Σταμόπουλος Δημοσθένης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αντικείμενο: Πειραματική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Συστήματα ισχυρών ηλεκτρονικών συσχετίσεων
 - Υβριδικά πολυλειτουργικά συστήματα
- Βιοϊατρικές εφαρμογές, διαγνωστικές και θεραπευτικές

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- Ηλεκτρομαγνητισμός I (10ΥΚΟ32, Θεωρία)
- Εργαστήριο Κατεύθυνσης Φυσικής Στερεάς Κατάστασης (10ΥΚ503, Εργαστήριο)

Superconductivity

Superconducting elements of Periodic Table

	IA																0	
1	1 H	IIA										III A	IVA	VA	VIA	VIIA	2 He	
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VII			IB	II B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	+Ac	104 Rf	105 Ha	106	107	108	109	110	111	112						

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

* Lanthanide Series

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

+ Actinide Series

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Abrikosov vortex lattice-Phase diagram of a Type-II, low- T_c SC

SOVIET PHYSICS JETP

VOLUME 5, NUMBER 6

DECEMBER 15, 1957

On the Magnetic Properties of Superconductors of the Second Group

A. A. ABRIKOSOV

Institute of Physical Problems, Academy of Sciences, U.S.S.R.

(Submitted to JETP editor November 15, 1956)

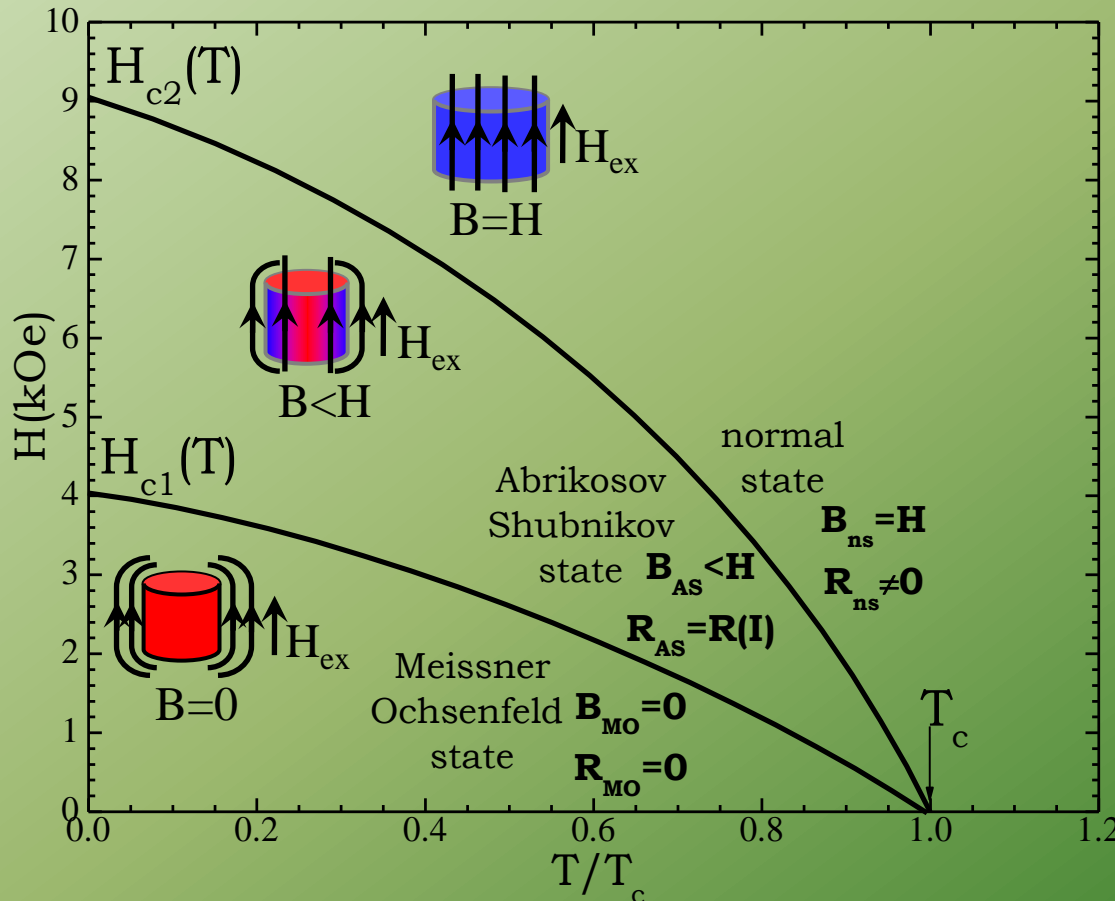
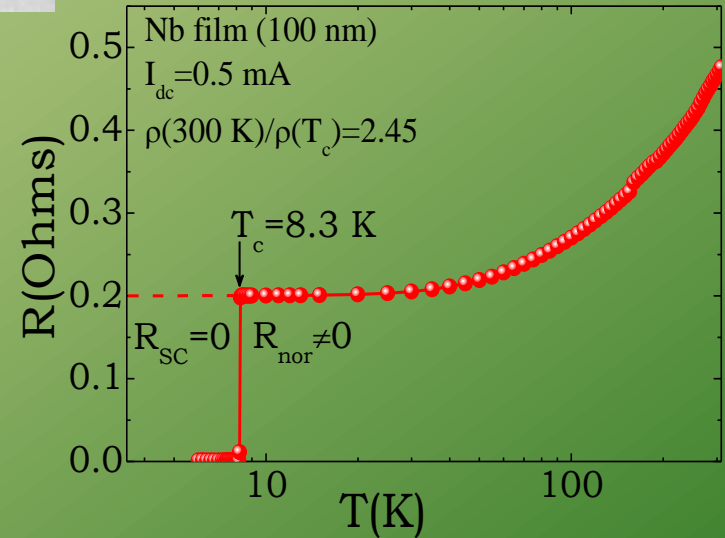
J. Exptl. Theoret. Phys. (U.S.S.R.) 32, 1442-1452 (June, 1957)

A study is made of the magnetic properties of bulk superconductors for which the parameter κ of the Ginzburg-Landau theory is greater than $1/\sqrt{2}$ (superconductors of the second group). The results explain some of the experimental data on the behavior of superconductive alloys in a magnetic field.

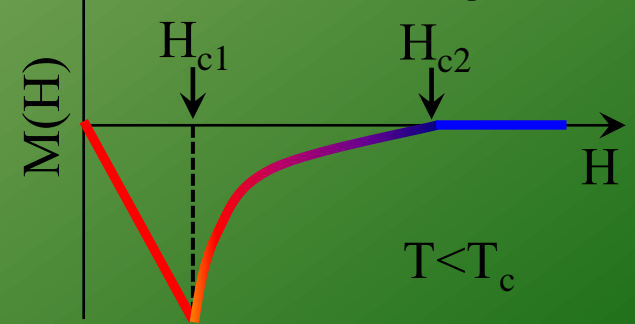
$$\alpha(B) = (\Phi_0/B)^{1/2}$$

$$\Phi_0 = hc/2e \quad (2.07 \times 10^{-7} \text{ Gcm}^2)$$

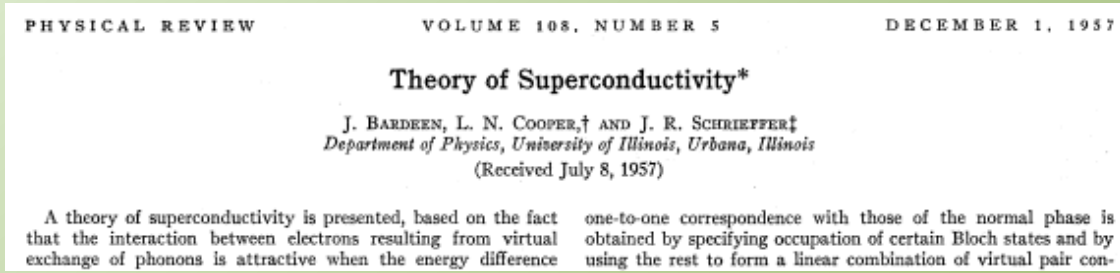
Zero electric resistance



Perfect diamagnetism



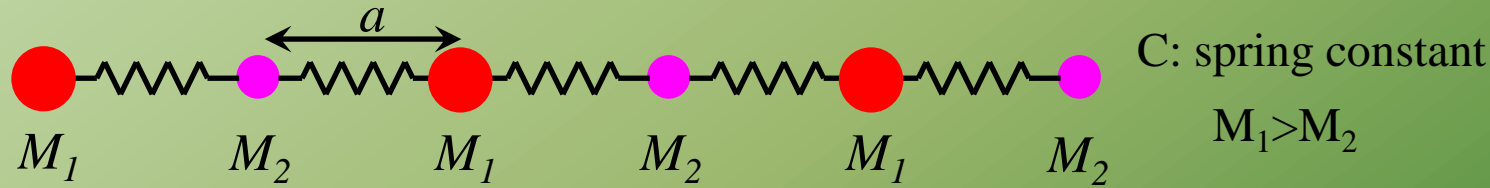
Bardeen, Cooper & Schrieffer-Phonons (lattice vibrations) form electron pairs



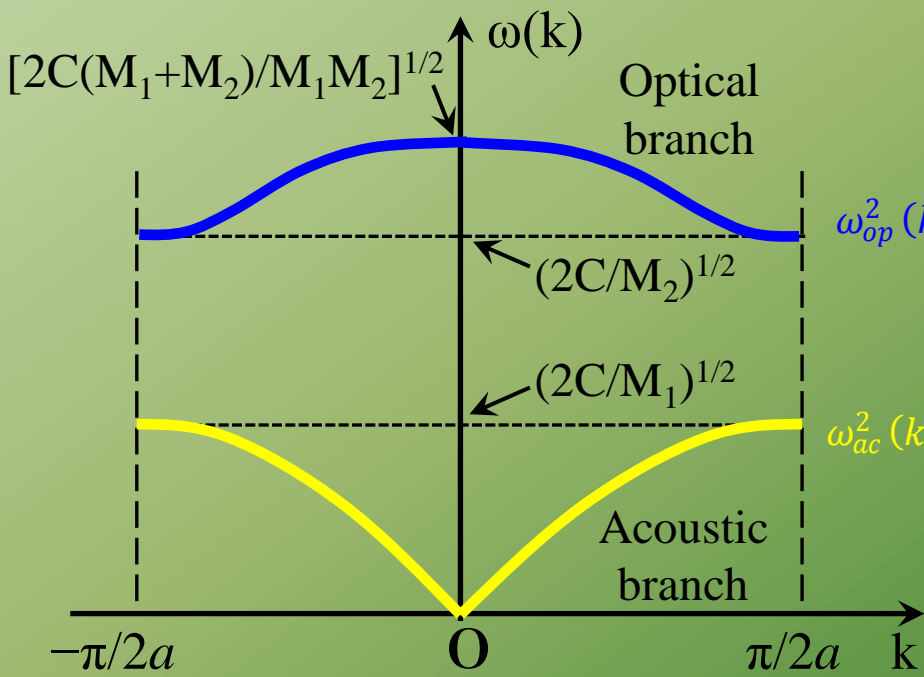
$$k_B T_C = \frac{\hbar \omega_{ln}}{1.2} \exp\left(-\frac{1.04(1 + \lambda)}{\lambda - \mu^*(1 + 0.62\lambda)}\right)$$

$$2\Delta(T) = 2\Delta(0) \tanh\left(\frac{\pi k_B T_C}{\Delta(0)} \sqrt{\alpha \frac{\Delta C}{C} \left(\frac{T_c}{T} - 1\right)}\right)$$

Phonons in a Linear Diatomic Lattice



In the classical approximation (Newton's second law) and only nearest-neighbor interaction to this system gives a dispersion relation with two branches



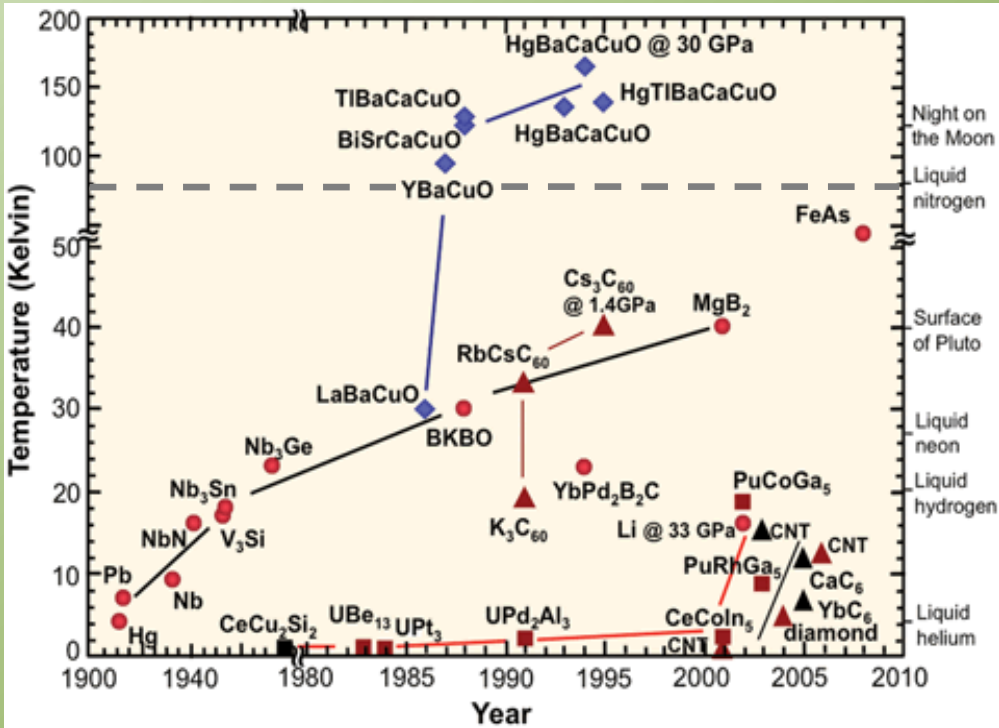
$$\omega_{op}^2(k) = C \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} + \left(\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} \right)^2 - \frac{4}{M_1 M_2} \sin^2(k\alpha) \right)^{1/2} \right)$$

$$\omega_{ac}^2(k) = C \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} - \left(\left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} \right)^2 - \frac{4}{M_1 M_2} \sin^2(k\alpha) \right)^{1/2} \right)$$

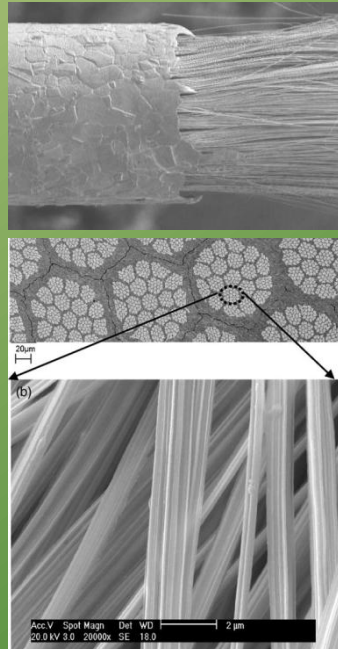
Superconductivity

Overview of Low- T_c and High- T_c SC discovery and representative applications

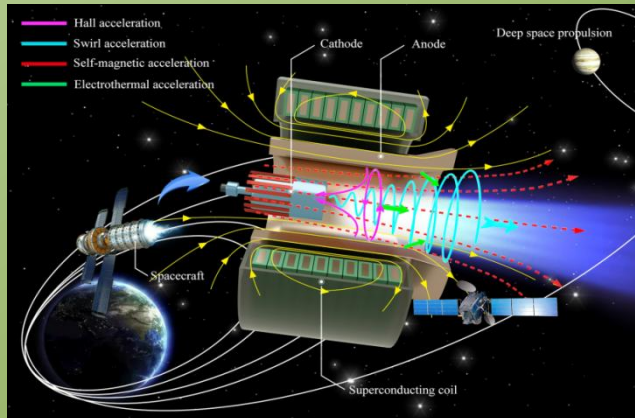
Medical-MRI



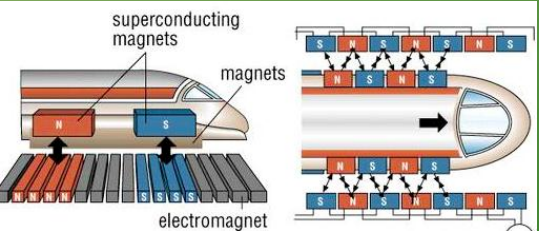
Power transfer/storage



Space public transport

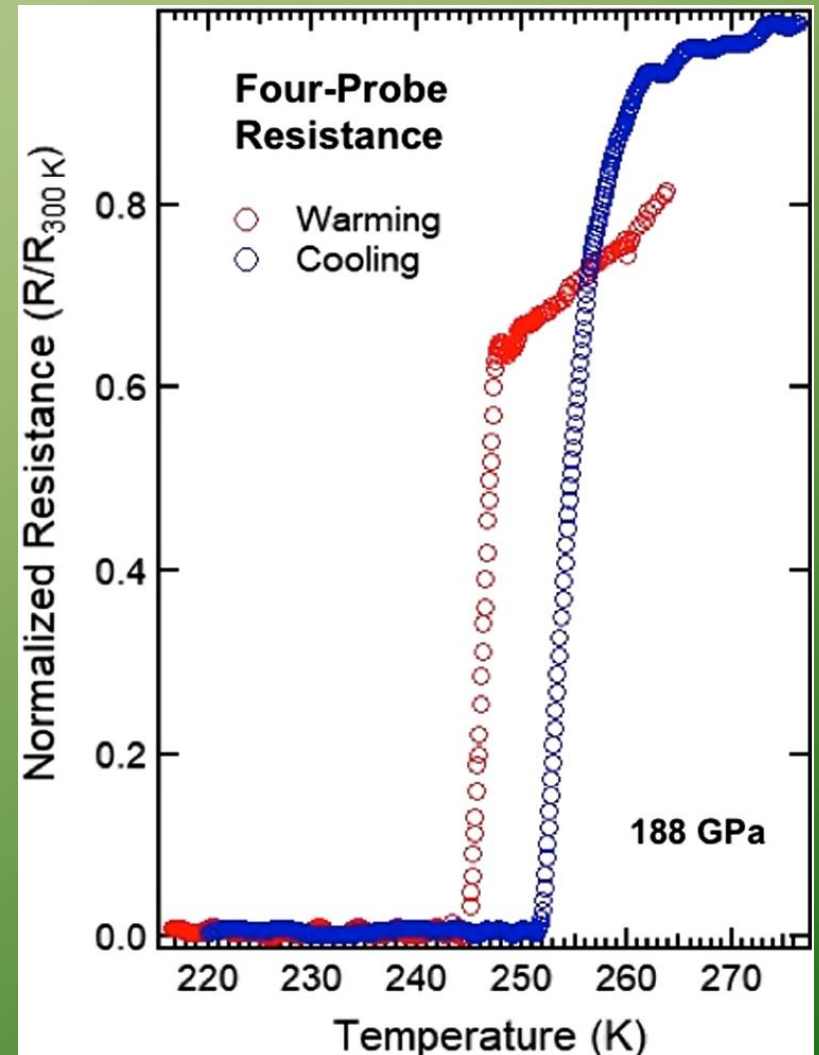
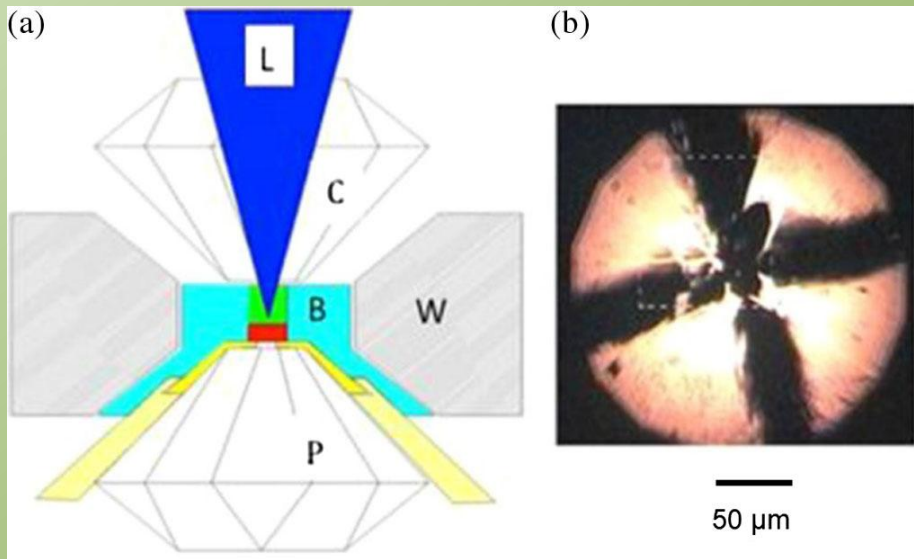


Ground public transport



Evidence for Superconductivity above 260 K in Lanthanum Superhydride at Megabar Pressures

Maddury Somayazulu, et al. PHYSICAL REVIEW LETTERS 122, 027001 (2019)





Στεφάνου Νίκος, Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρητική Φυσική Στερεάς Κατάστασης

Περιοχές έρευνας

- Μαγνητο-οπτικά και ακουστο-οπτικά φαινόμενα σε δομημένα μέσα
 - Φωτονικοί κρύσταλλοι και μεταϋλικά
 - Φωνονικοί κρύσταλλοι
 - Νανο-οπτική, πλασμονική
 - Ηλεκτρονική δομή και ιδιότητες των στερεών

**Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής
θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια**

- **Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΕΚΑ05, Θεωρία)**
 - **Θεωρία Ομάδων και Εφαρμογές" (10ΕΛΕ04, Θεωρία)**
 - Βασικό Εργαστήριο Φυσικής ΙΙΙ (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)

Στεφάνου Νικόλαος, Καθηγητής

Μέρος Α

- Κλασσικά κύματα σε διαμορφωμένα μέσα
Φωτονικές και φωνονικές μικρο/νανο-δομές

- Χειρομορφία και οπτομαγνητικές νανοδομές
*Χειρόμορφα οπτικά μεταϊλικά, Χειρο-μαγνητικές δομές,
Οπτο-μαγνονικές νανοδομές*

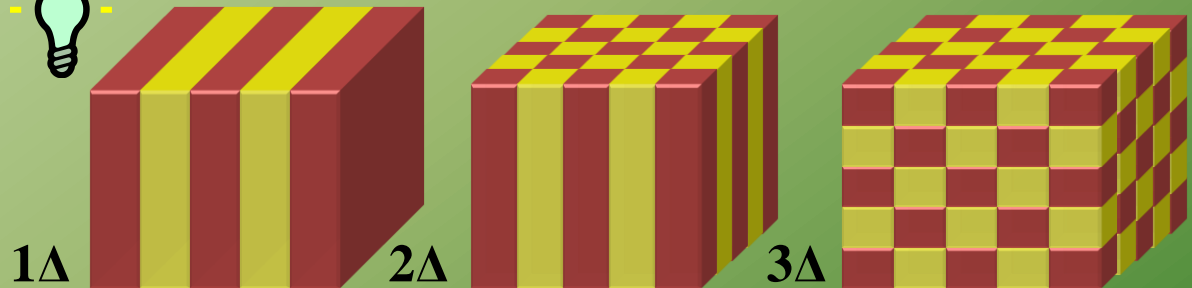
Κλασικά Κύματα σε Διαμορφωμένα Μέσα: Φωτονικές και Φωνονικές Μικρο/Νανο-δομές

Περιοδικότητα → σημαντική για τη διαμόρφωση των ιδιοτήτων υλικών

Σύστημα	Περιγραφή	Κύματα	Ενεργειακό χάσμα
Κρυσταλλικό στερεό	Περιοδική διάταξη ατόμων ~ 5 \AA	Ηλεκτρόνια (Ψ) Εξ. Schrödinger	Απουσία καταστάσεων ηλεκτρονίων

Κλασικά κύματα σε φυσικές ή τεχνητές περιοδικές δομές:

Έλεγχος της διάδοσης του φωτός και του ήχου



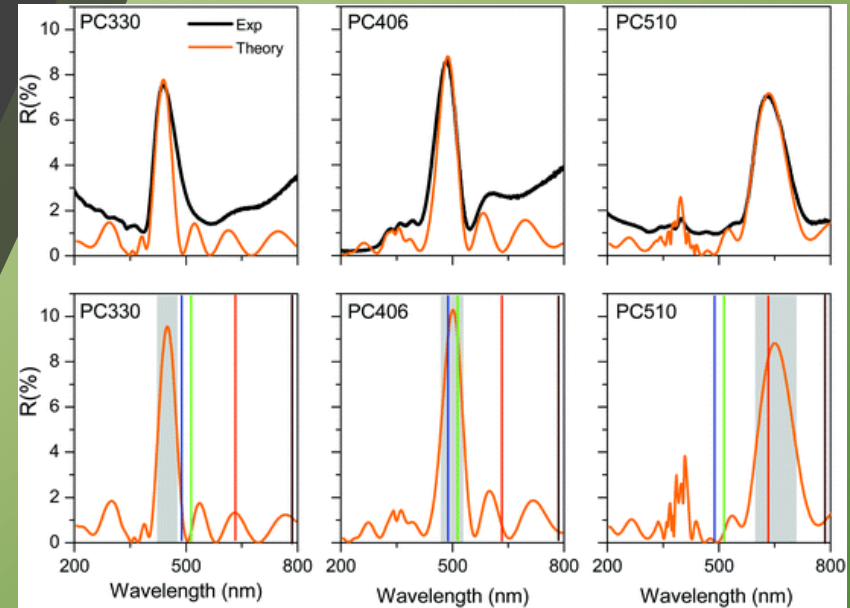
Φωτονικός Κρύσταλλος	Περιοδική μεταβολή ϵ, μ σε μακροσκοπική κλίμακα	ΗΜ (E, B) Εξ. Maxwell	Απουσία καταστάσεων του ΗΜ πεδίου
-----------------------------	--	------------------------------	-----------------------------------

Φωνονικός Κρύσταλλος	Περιοδική μεταβολή ρ, λ, μ σε μακροσκοπική κλίμακα	Ελαστικά (U) Εξ. Ελαστικότητας	Απουσία καταστάσεων του ελαστικού πεδίου
-----------------------------	---	---------------------------------------	--

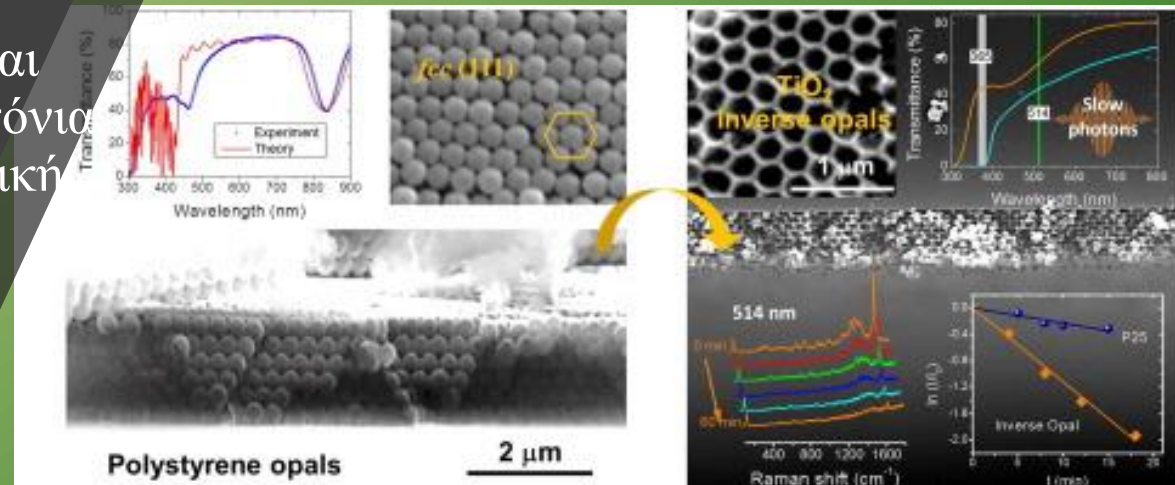
Περιοδικά χρονικά μεταβαλλόμενα μέσα → **Χρονοκρύσταλλοι**

Ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων πολλαπλής σκέδασης

- Γρήγοροι και ακριβείς αριθμητικοί υπολογισμοί (δύο τάξεις μεγέθους ταχύτεροι από ό,τι με υπάρχοντα εμπορικά υπολογιστικά πακέτα)
- Οι κώδικές μας χρησιμοποιούνται από πολλές ερευνητικές ομάδες παγκοσμίως >1000 αναφορές
- Πρόσφατες εφαρμογές: Ενισχυμένη φωτοκατάλυση και σκέδαση Raman με αργά φωτόνια (Συνεργασία με την πειραματική ομάδα Β. Λυκοδήμου)



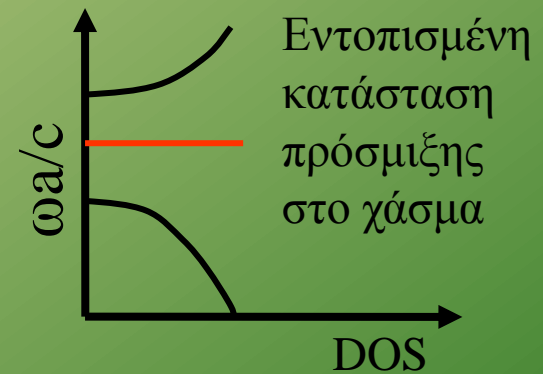
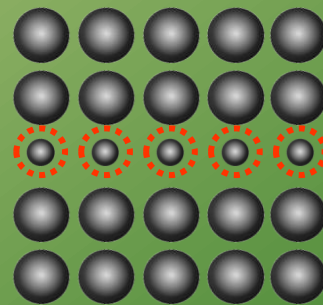
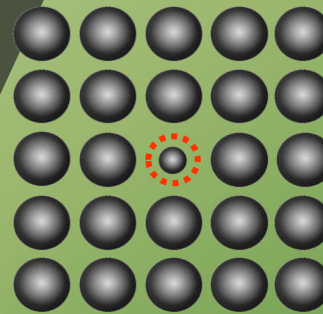
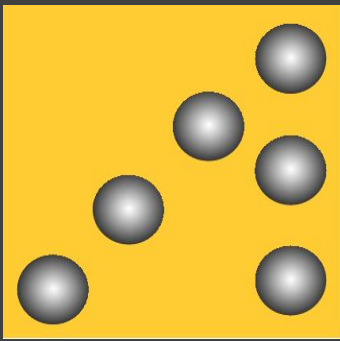
A. Toumazatou et al, *Mater. Lett.* **197**, 123 (2017)



Κυματοδηγοί συζευγμένων κοιλοτήτων συντονισμού

Ιδέα: Διέλευση φωτός μέσω
συζευγμένων εντοπισμένων
καταστάσεων εντός ενός
χάσματος συχνοτήτων

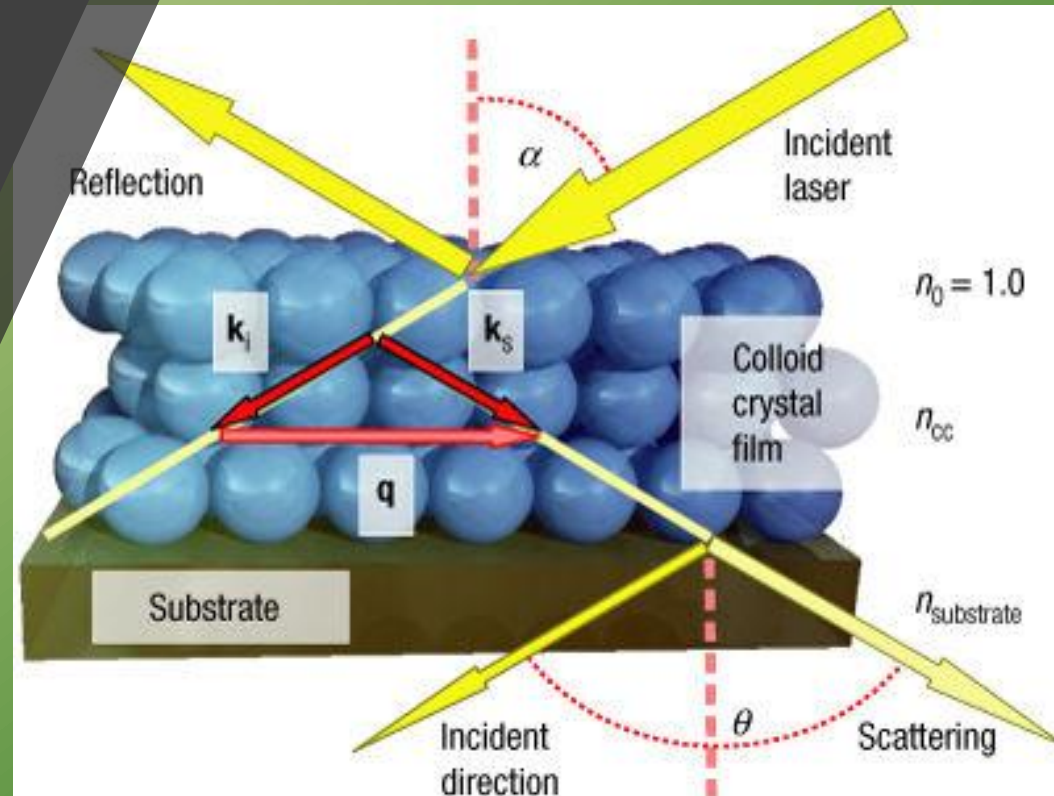
- Αργό φως
- Αποτελεσματική διέλευση
από απότομες κάμψεις



Ρυθμιζόμενα χάσματα για υπερήχους σε κολλοειδείς κρυστάλλους

Ιδέα: Μπορούμε να ελέγξουμε κατά βούληση τη διάδοση ακουστικών κυμάτων σε κολλοειδείς κρυστάλλους μικροσωματιδίων

- Έλεγχος της διάδοσης υπερήχων (~ 10 GHz)
- Πειραματική μελέτη της διάδοσης ακουστικών κυμάτων με φασματοσκοπία Brillouin

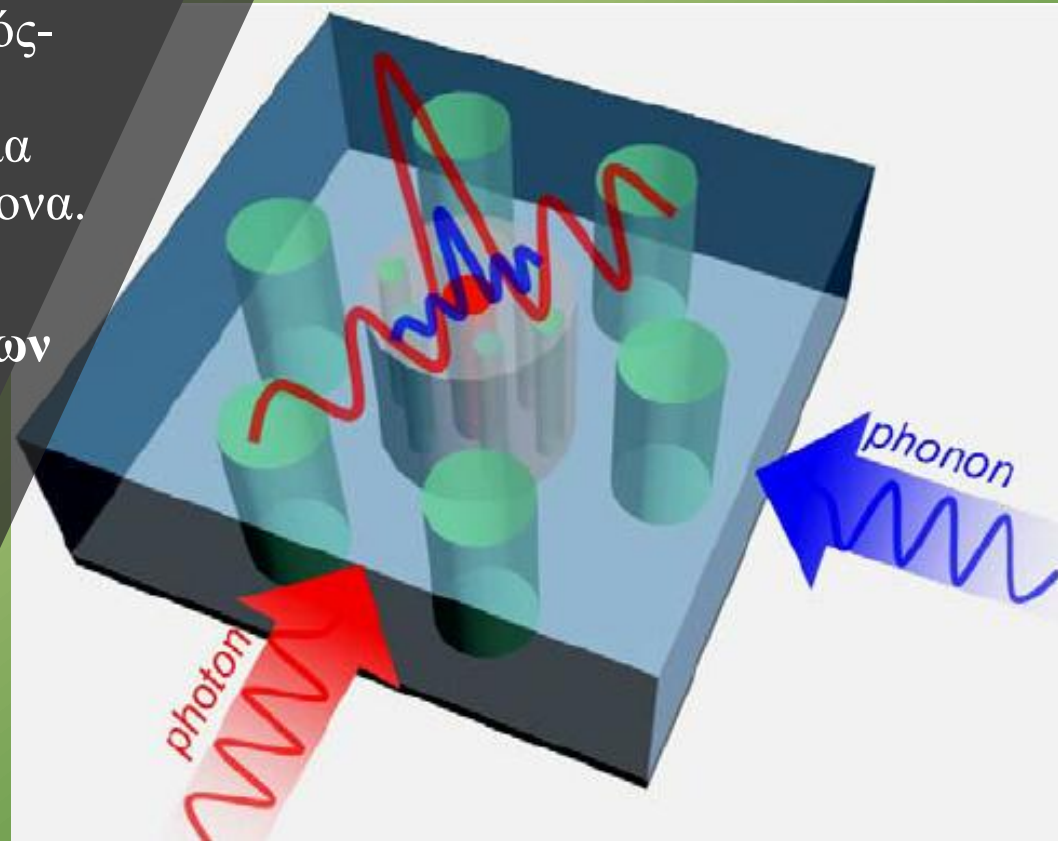


Συνεργασία με το Ινστιτούτο
Max Planck του Mainz

Φωξονικές νανοδομές

Ιδέα: Μπορούμε να αυξήσουμε δραματικά την αλληλεπίδραση φωτός-ήχου σε κατάλληλα διαμορφωμένες «διπλές» κοιλότητες συντονισμού για ακουστικά και ΗΜ κύματα ταυτόχρονα.

- Ισχυρή διαμόρφωση ΗΜ κυμάτων με ακουστικά κύματα
- Ισχυρή οπτο-μηχανική αλληλεπίδραση
- Μη γραμμικά φαινόμενα
- Διάδοση φωτός σε χρονικά μεταβαλλόμενο μέσο - χρονοκρύσταλλοι





Τσακμακίδης Κοσμάς, Επίκουρος Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρητική/Υπολογιστική φυσική συμπυκνωμένης ύλης & νανοφωτονική

Περιοχές έρευνας

- Μεταϋλικά και πλασματική
- Αργό και σταματημένο φως
- Θεωρητική και υπολογιστική φυσική
- Κβαντική οπτική και φυσική εκτός ισορροπίας

Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια

- Φυσική ΙΙΙ (10ΥΚΟ03, Θεωρία)
- Βασικό Εργαστήριο Φυσική ΙΙΙ (10ΥΚΟ07, Εργαστήριο)
- Εργαστήριο Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (10ΕΚΑ01, Εργαστήριο)

Τσακμακίδης Κοσμάς, Επίκουρος Καθηγητής

Μέρος Α

- Νανο-φωτονική & Μεταϊλικά

Αρνητικός δείκτης διάθλασης, πλασμαονικά υλικά, υλικά αρνητικού μ

- Μανδύες αορατότητας, αργό & σταματημένο φως

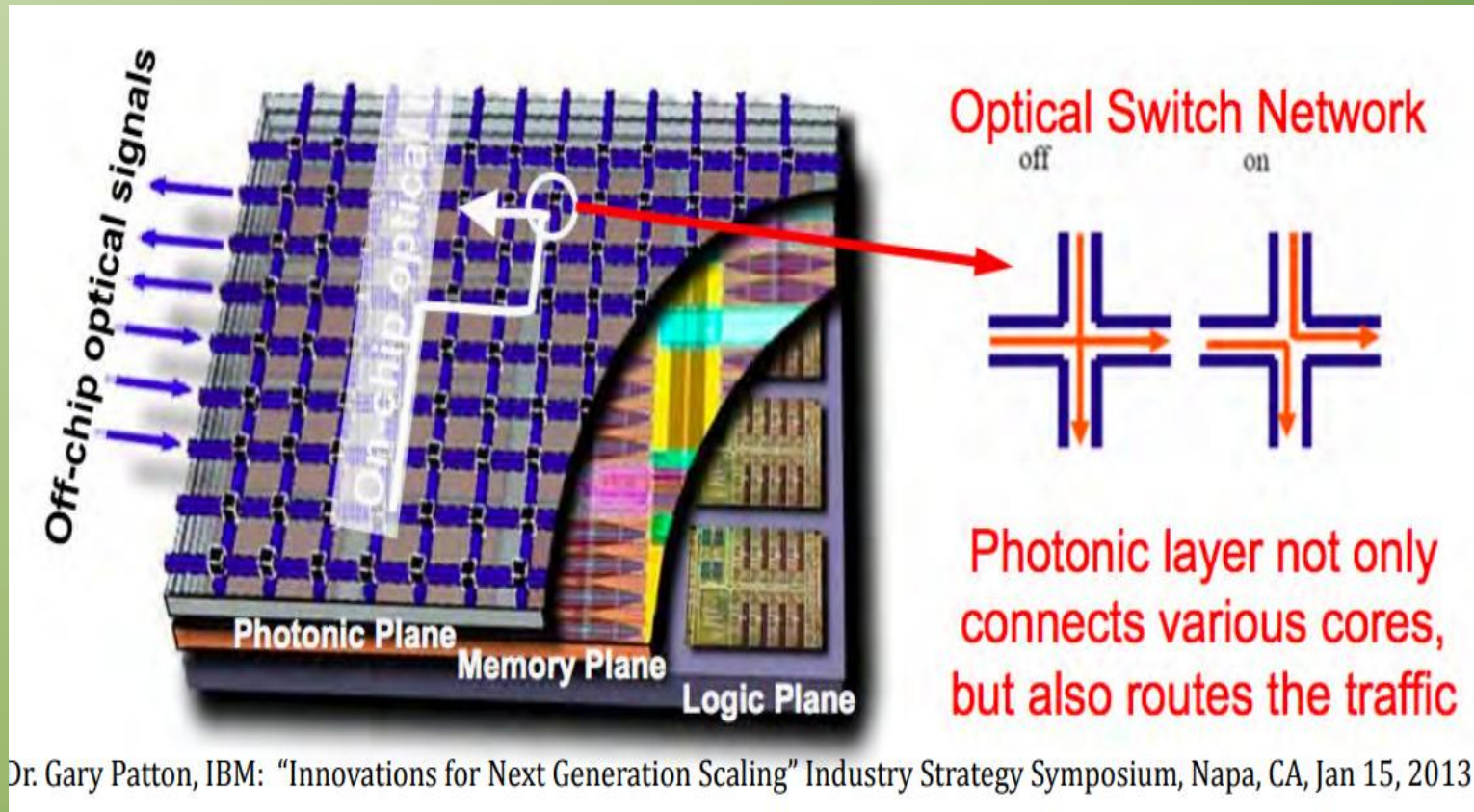
Ευρυζωνική αορατότητα, υπέρβαση του ορίου $\Delta t \Delta \omega$,

ευρυζωνικό τοπολογικό αργό φως

Νανοφωτονική...

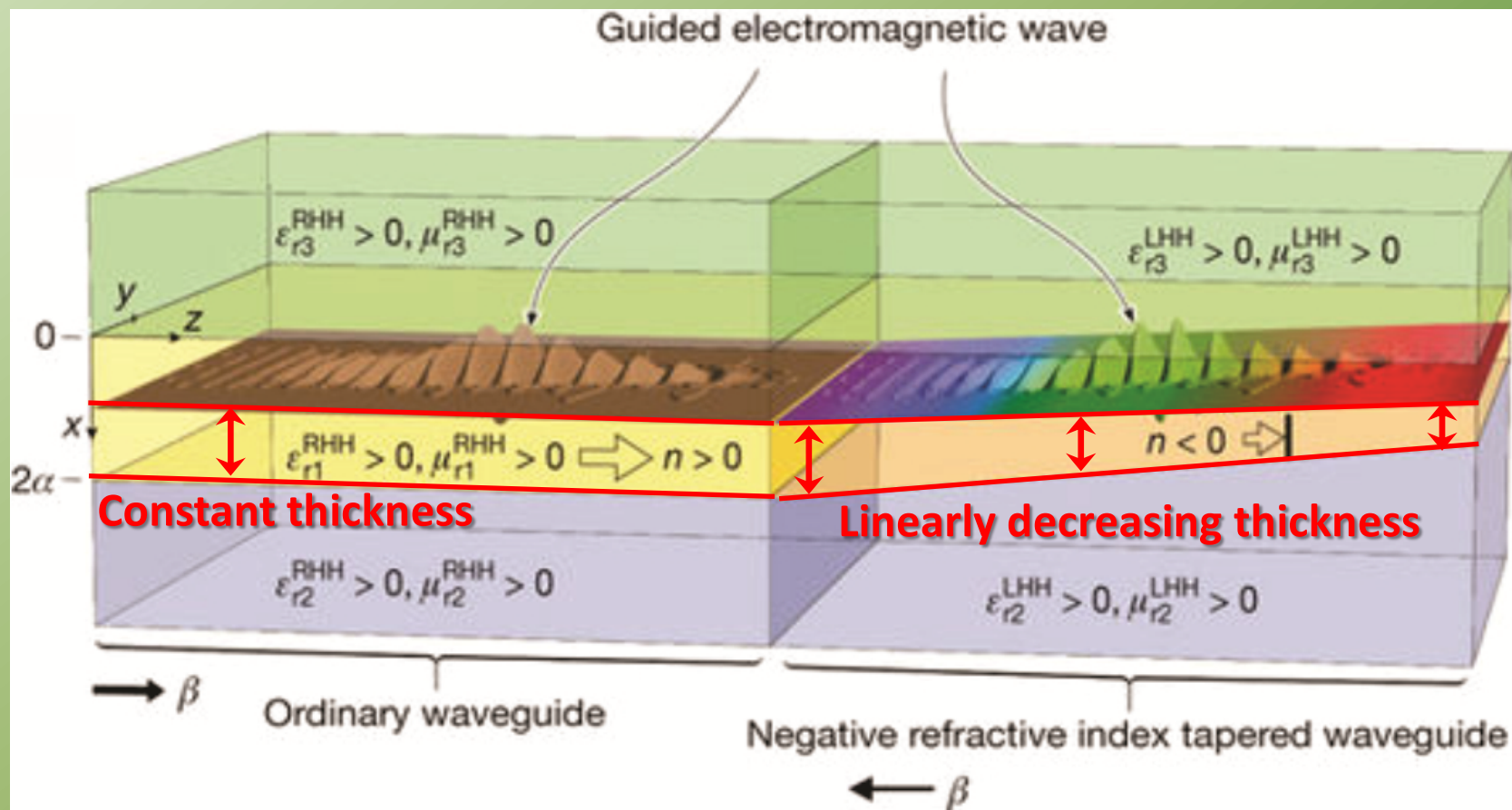
...το μέλλον της νανο-ηλεκτρονικής
& της φωτονικής

Τα μελλοντικά microchips θα έχουν κι ένα στρώμα πλήρως φωτονικών
συσκευών (όπως, π.χ., με τις οπτικές ίνες)



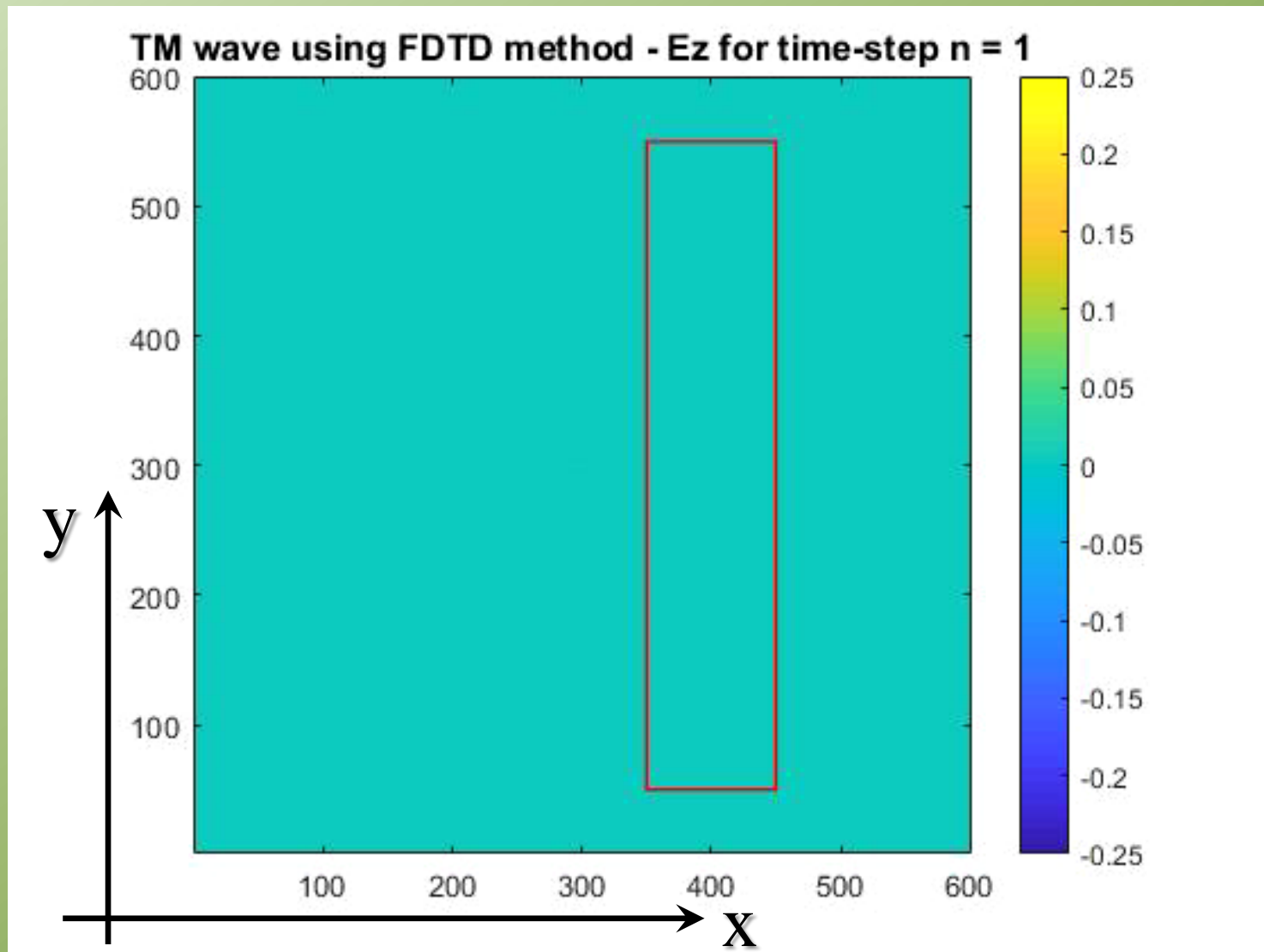
Αργό & Σταματημένο φως: ‘Παγιδευμένο Ουράνιο Τόξο’ (‘trapped rainbow’ effect)

Ένας ευρυζωνικός παλμός σταματάει πλήρως ($v_g = 0$) μέσα σε έναν κυματοδηγό αρνητικού δείκτη διάθλασης ($n < 0$)..!



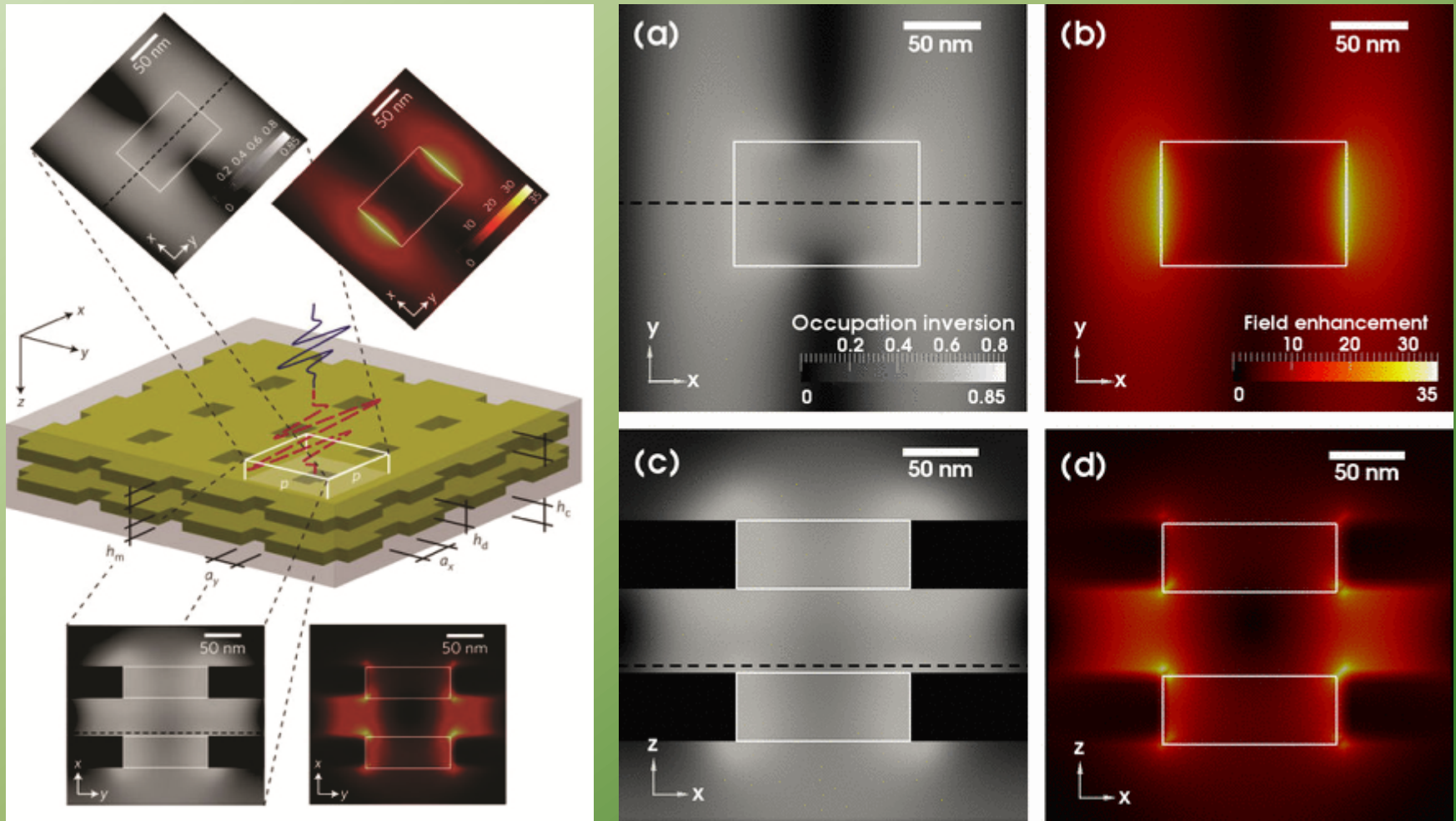
[K. L. Tsakmakidis, *et al.*, *Nature* (2007)]

Αρνητική διάθλαση και εστίαση (focusing) του φωτός μέσα σε ένα μεταϊλικό αρνητικού δείκτη διάθλασης $n = -1$



Μεταϋλικά **Αρνητικού** Δείκτη Διάθλασης Χωρίς Απώλειες

Μελέτη με τη μέθοδο των **πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου** (Finite Difference Time Domain, FDTD, method) ενός ‘double fishnet’ μεταϋλικού αρνητικού δείκτη διάθλασης ($n < 0$)



Τσακμακίδης Κοσμάς, Επίκουρος Καθηγητής

Μέρος Α

- Νανο-φωτονική & Μεταϊλικά

Αρνητικός δείκτης διάθλασης, πλασμαονικά υλικά, υλικά αρνητικού μ

- Μανδύες αορατότητας, αργό & σταματημένο φως

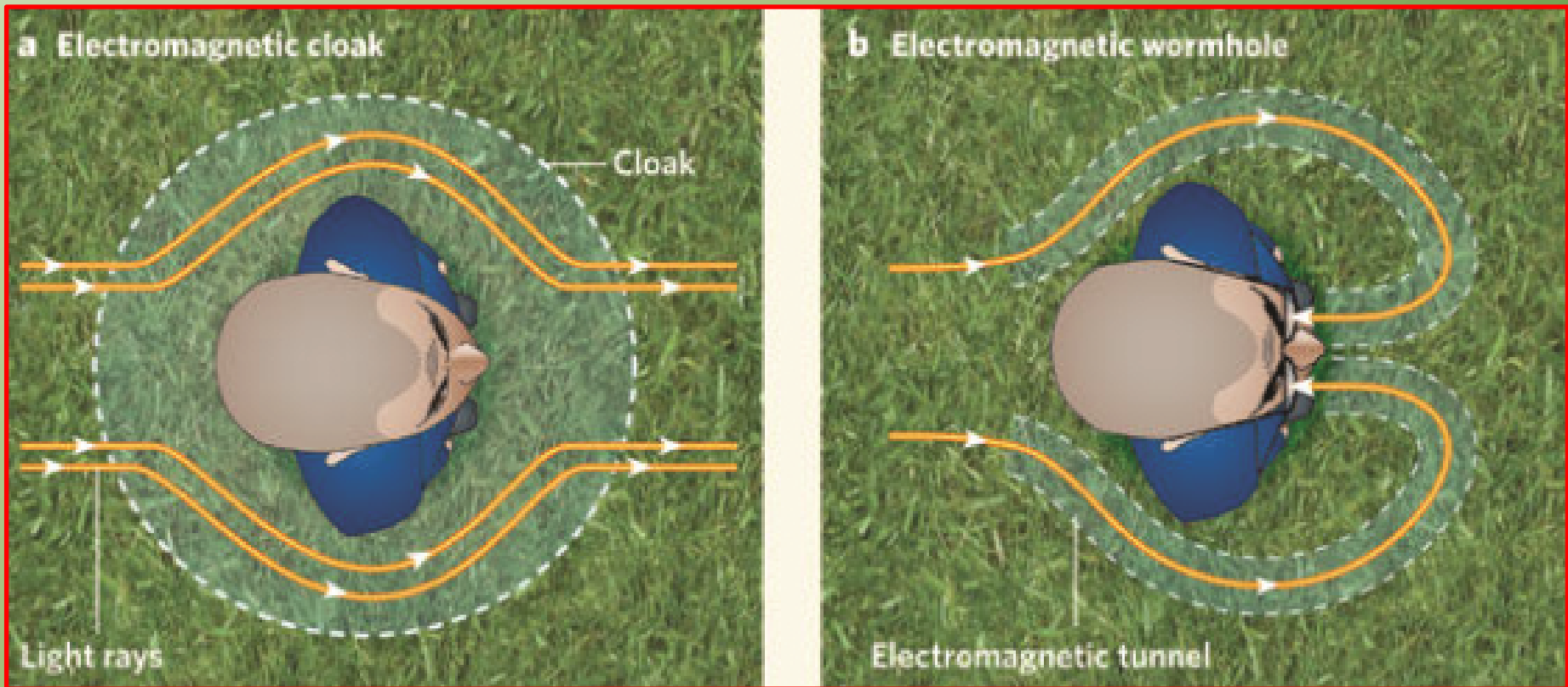
Ευρυζωνική αορατότητα, υπέρβαση του ορίου $\Delta t \Delta \omega$,

ευρυζωνικό τοπολογικό αργό φως

Ευρυζωνικοί Μανδύες Αορατότητας

- Μελέτη με προγράμματα COMSOL, CST, Lumerical

Το προσπίπτον φως διέρχεται ‘σαν νερό’ ομαλά γύρω από ένα αντικείμενο (και μέσα σε ένα κατάλληλο μεταϋλικό-μανδύα), καθιστώντας το αντικείμενο ‘αόρατο’ σε έναν μακρινό παρατηρητή...

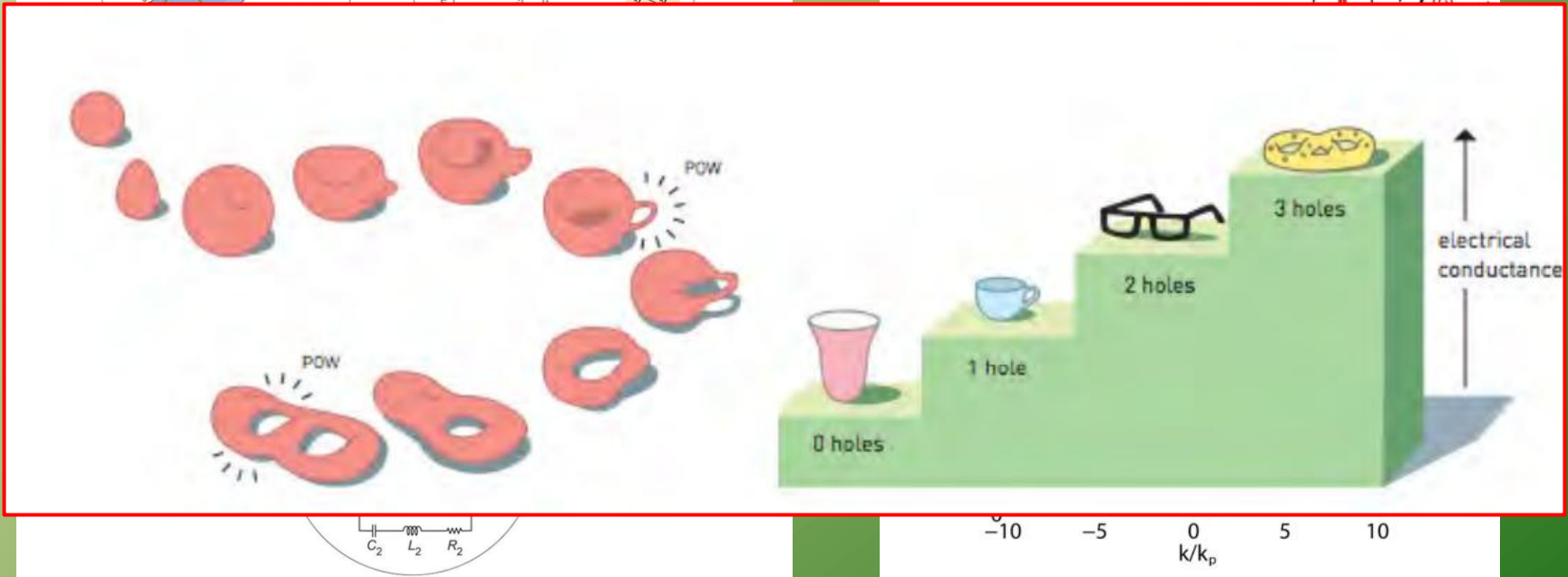
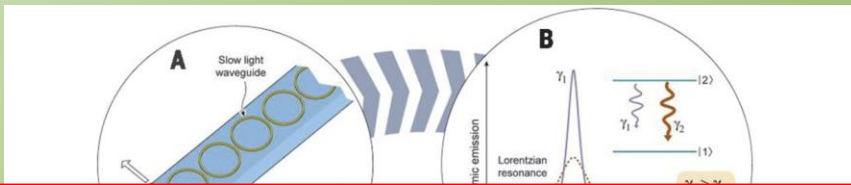


[K. L. Tsakmakidis, *et al.*, *Nature* (2008), *Nature Communications* (2019)]

Υπέρβαση του Ορίου 'ΔtΔω' σε Τοπολογικά Φωτονικά Υλικά

- Μελέτη με τη μέθοδο FDTD και Transfer Matrix

Αποθήκευση, ταυτόχρονα, ευρυζωνικού κύματος (μεγάλο 'Δω') και για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μεγάλο 'Δt') σε μονοκατευθυντικούς τοπολογικούς κυματοδηγούς





Φραντζεσκάκης Δημήτριος, Καθηγητής

Αντικείμενο: Θεωρία Συμπυκνωμένης Ύλης

Περιοχές έρευνας

- Μη γραμμικά κύματα και σολιτόνια
 - Θεωρία Συμπυκνωμένης Ύλης
 - Συμπυκνώματα Bose-Einstein
- Μη γραμμική οπτική και φωτονική

Τρέχοντα Προπτυχιακά Εκπαιδευτικά Καθήκοντα στα εξής θεωρητικά μαθήματα και εργαστήρια

- Συνήθεις Διαφορικές Εξισώσεις (10ΥΚΟ14, Θεωρία)
- Μαθηματικές Μέθοδοι Φυσικής I (10ΥΚΟ15, Θεωρία)
- Μαθηματικές Μέθοδοι Φυσικής II (10ΥΚΟ16, Θεωρία)
- Μη Γραμμικά Δυναμικά Συστήματα (10ΕΛΕ06, Θεωρία)

Φραντζεσκάκης Δημήτριος, Καθηγητής

Μέρος Α

- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα και Σολιτόνια
 - Σολιτόνια στη Φύση
- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα στον κβαντικό κόσμο:
συμπυκνώματα Bose-Einstein

Μη γραμμικές εξισώσεις – μη γραμμικά κύματα

- ❖ Ένα βασικό στοιχείο της Θεωρητικής Φυσικής, είναι η κατανόηση και περιγραφή διαφόρων φυσικών φαινομένων με τη **χρήση μαθηματικών μοντέλων/εξισώσεων**.
- ❖ Πολύ συχνά, τέτοια μοντέλα περιγράφουν συστήματα στα οποία οι μετρήσιμες ποσότητες έχουν **μεγάλο πλάτος**, οπότε οι σχετικές εξισώσεις είναι **μη γραμμικές**. Κάποιες συγκεκριμένες μη γραμμικές εξισώσεις είναι **οικουμενικές**, αποτελώντας θεμελιώδη μοντέλα που ισχύουν σε διάφορες περιοχές της Φυσικής.
- ❖ Ένα σημαντικό ερευνητικό πεδίο είναι η εύρεση λύσεων τέτοιων μη γραμμικών εξισώσεων, και η κατανόηση των ιδιοτήτων τους, με **ακριβείς, προσεγγιστικές και αριθμητικές μεθόδους** – και σε στενή επαφή με **σύγχρονα πειράματα**.
- ❖ Κεντρικό θέμα σε αυτό το ερευνητικό πεδίο είναι τα **μη γραμμικά κύματα**, όπως τα **κρουστικά κύματα**, τα **μη γραμμικά περιοδικά κύματα**, τα **Σολιτόνια**, οι **Στρόβιλοι**, κ.α.
- ❖ Τα μη γραμμικά κύματα αφορούν πολλούς κλάδους της Φυσικής, λ.χ., τη Φυσική Συμπυκνωμένης Ύλης, τη Ρευστομηχανική, τη Φυσική Πλάσματος, κλπ.

Βασικές ιδιότητες των μη γραμμικών κυμάτων

- Τα μη γραμμικά κύματα είναι **λύσεις μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους**
- Στην ιδεατή περίπτωση, οι εξισώσεις αυτές είναι **πλήρως ολοκληρώσιμες** (δηλ. έχουν άπειρες διατηρήσιμες ποσότητες – λ.χ., ενέργεια, ορμή, κλπ)
- Ολοκληρώσιμες εξισώσεις επιδέχονται λύσεις που λέγονται **Σολιτόνια**. Τα Σολιτόνια **διαδίδονται χωρίς παραμόρφωση** και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ελαστικά → παρουσιάζουν **σωματιδιακό χαρακτήρα**
- Στην πράξη, μολονότι η ιδεατή περιγραφή παύει να ισχύει, τα μη γραμμικά κύματα και τα Σολιτόνια είναι «αρκούντως» ευσταθή ώστε να μπορούν:
 - να παρατηρηθούν στη **φύση** και στο **εργαστήριο**
 - να χρησιμοποιηθούν σε **εφαρμογές**
 - να εξηγήσουν τον εντοπισμό ενέργειας στη μορφή εντοπισμένων κυματομορφών που εμφανίζονται σε πολύ διαφορετικές κλίμακες στη φύση – **από τα άτομα, ως τους ωκεανούς και τους γαλαξίες**

Φραντζεσκάκης Δημήτριος, Καθηγητής

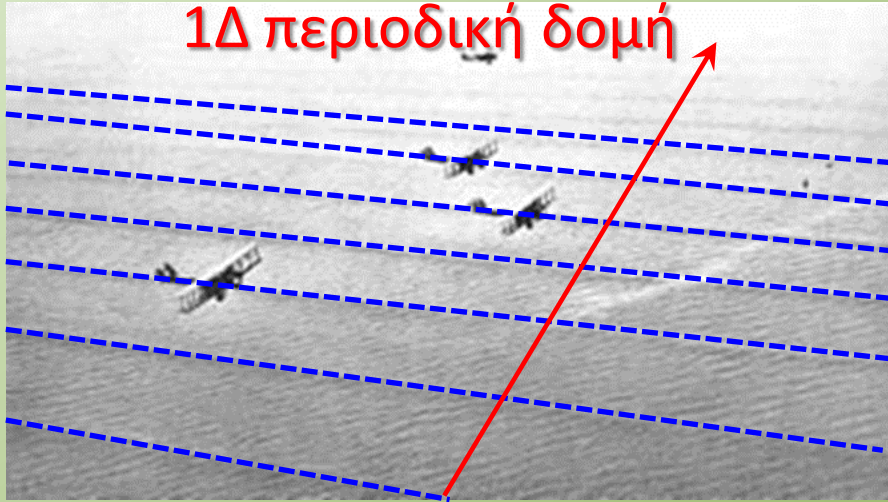
Μέρος Α

- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα και Σολιτόνια
 - Σολιτόνια στη Φύση
- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα στον κβαντικό κόσμο:
συμπυκνώματα Bose-Einstein

Μη γραμμικά κύματα στη φύση (I)

Μη γραμμικά περιοδικά κύματα στη θάλασσα

1Δ περιοδική δομή



2Δ περιοδική δομή



‘μοναχικά’ Σολιτόνια



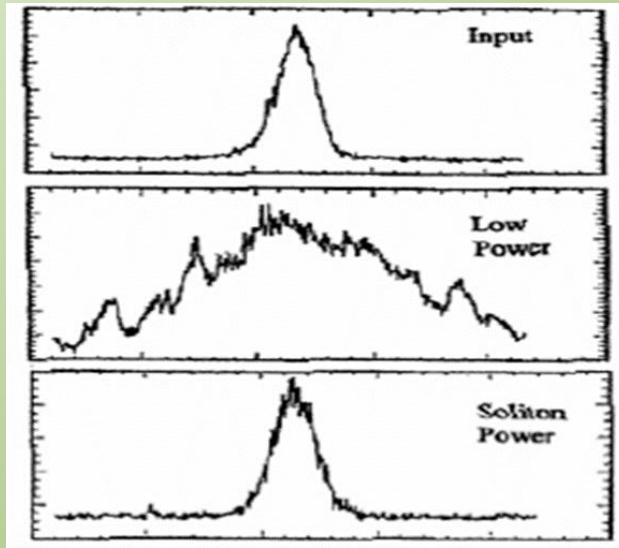
Μη γραμμικά κύματα στη φύση (II)



Αλληλεπιδράσεις Σολιτονίων στη θάλασσα



Μη γραμμικά κύματα στο εργαστήριο



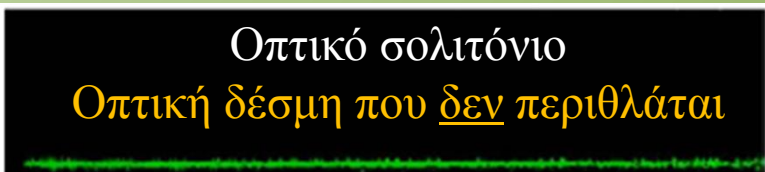
.... και στη βιομηχανία



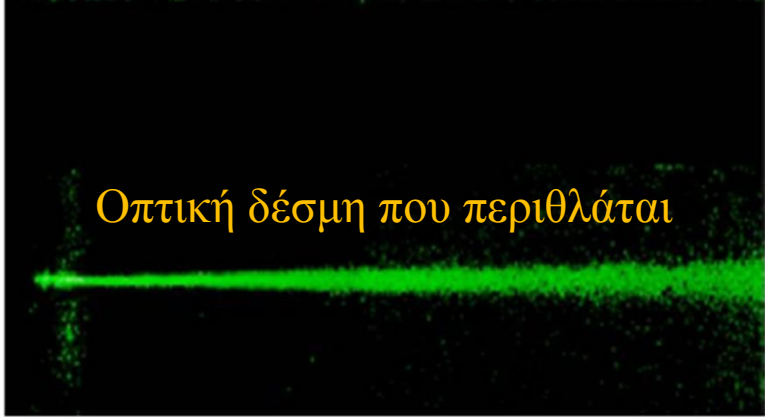
Οπτικό σολιτόνιο σε κρύσταλλο SBN

Οπτικό σολιτόνιο

Οπτική δέσμη που δεν περιθλάται



Οπτική δέσμη που περιθλάται

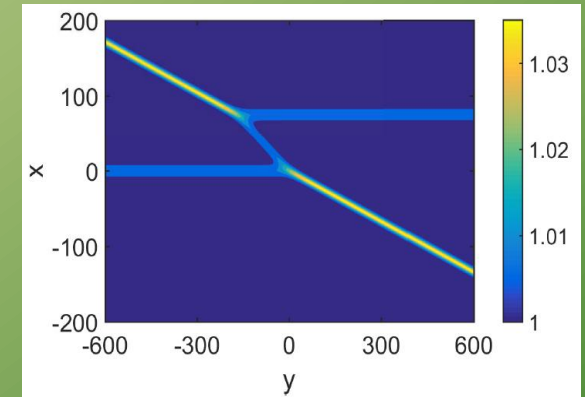
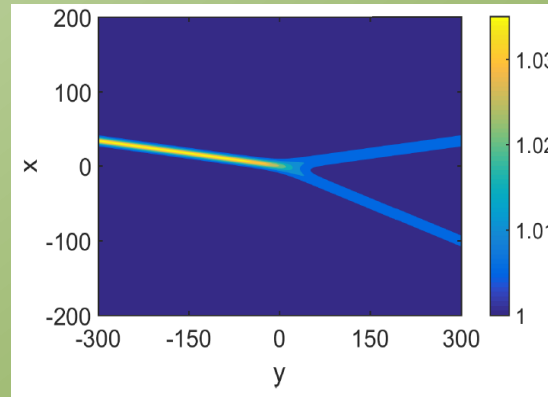
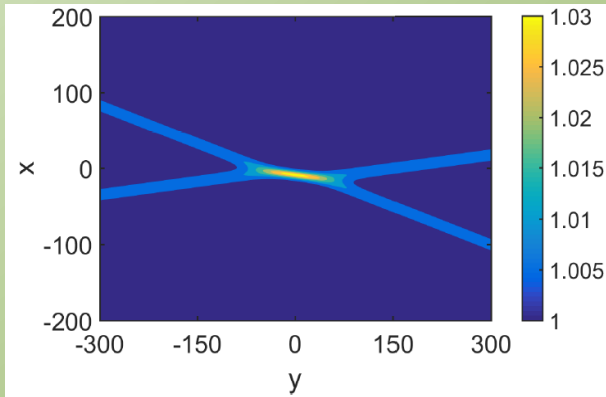


Οπτική ζεύξη με σολιτόνια
3000 km

160 channels x 10 Gbit/s

Οικουμενικότητα:

οπτικές δέσμες Σολιτονίων σε υγρούς κρυστάλλους,
σε υγρά διαλύματα, σε πλάσμα, κλπ, αλληλεπιδρούν
όπως τα Σολιτόνια στη θάλασσα!



Κυματομορφή X



Κυματομορφή Y



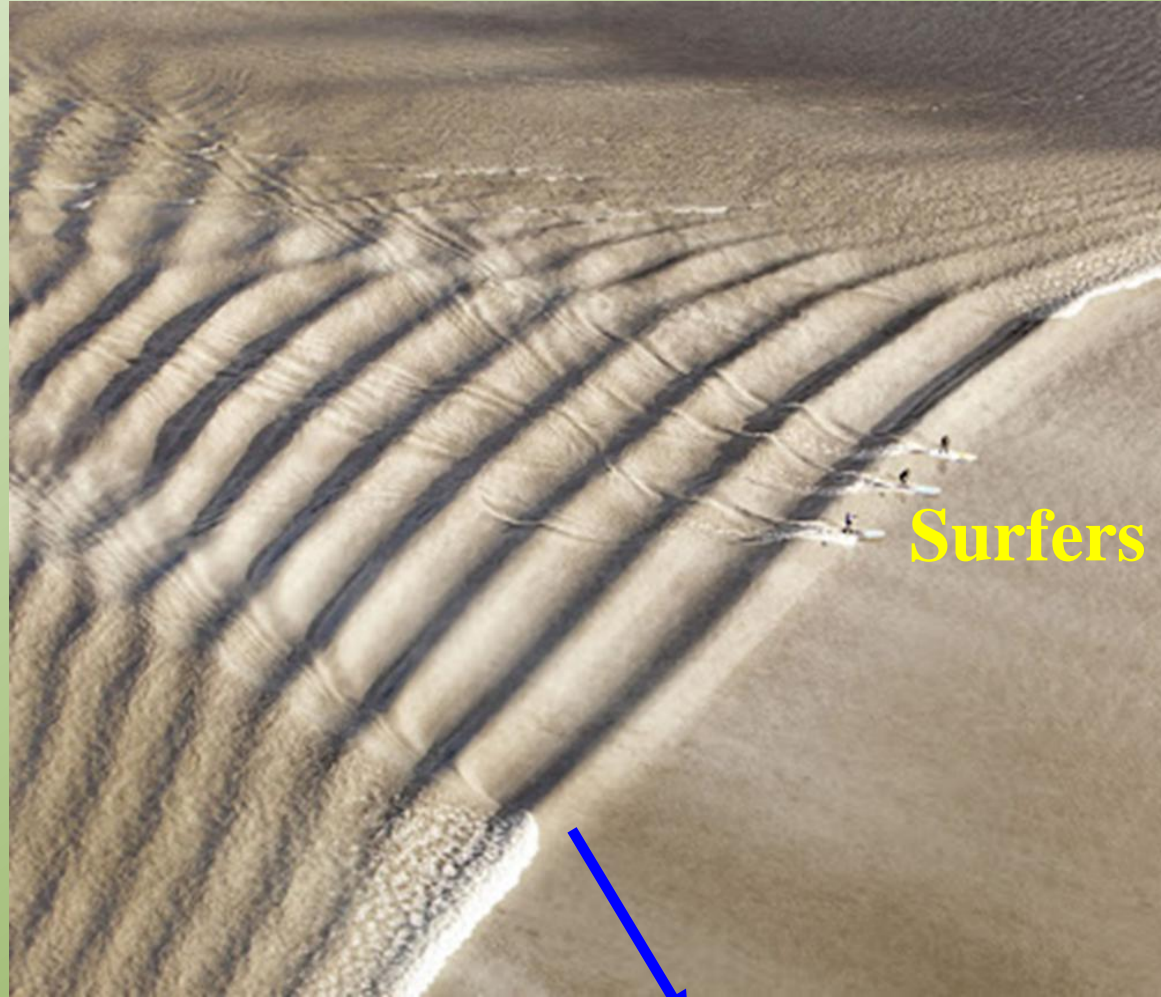
Κυματομορφή H

Η αλφαβήτα των Σολιτονίων!

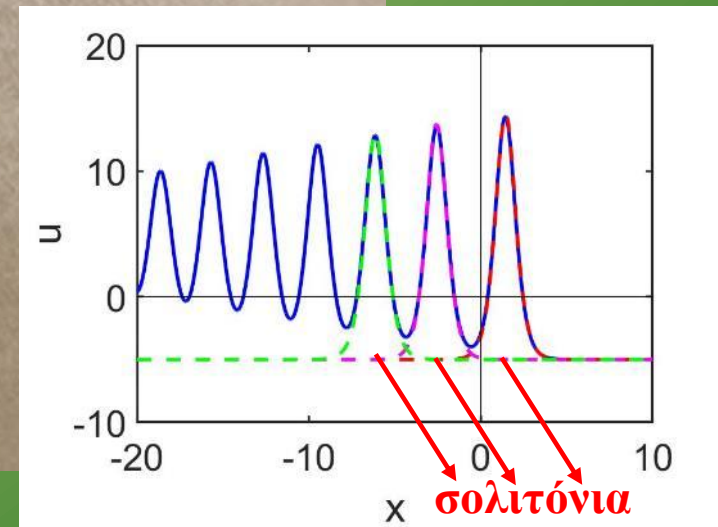
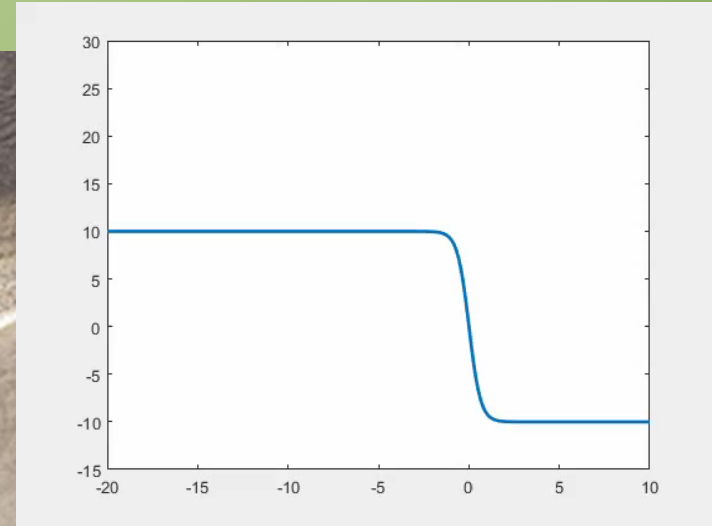
Μη γραμμικά κύματα στη φύση (III)

Κρουστικά κύματα με διασπορά

Πως σχηματίζονται



Surfers



Μέτωπο κρουστικού κύματος

Αλληλουχία σολιτονίων

Φραντζεσκάκης Δημήτριος, Καθηγητής

Μέρος Α

- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα και Σολιτόνια
 - Σολιτόνια στη Φύση
- Μη γραμμικές εξισώσεις/γραμμικά κύματα στον κβαντικό κόσμο:
συμπυκνώματα Bose-Einstein

Μη γραμμικά κύματα στον κβαντικό κόσμο: συμπυκνώματα Bose-Einstein

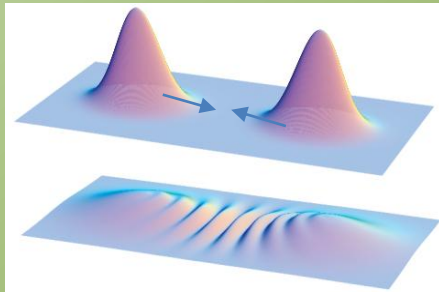
Bose-Einstein condensate (BEC): Κατάσταση της ύλης όπου «μακροσκοπικός» αριθμός σωματιδίων ($10^3 - 10^4$) που ακολουθεί την κατανομή Bose-Einstein (μποζόνια) καταλαμβάνει την ίδια κβαντική κατάσταση (για $T \rightarrow 0$)

➔ **Πρόβλεψη:** Bose - Einstein (1925)

➔ **Πειραματική επιβεβαίωση:** Cornell-Wieman-Ketterle-Hulet (1995)
σε υπερ-ψυχρά αέρια ^{87}Rb , ^{23}Na και ^7Li - *Nobel Φυσικής (2001)*

Το BEC είναι:

➤ Ένα «σύμφωνο» (coherent) υλικό κύμα - **παρόμοιο με το laser!**



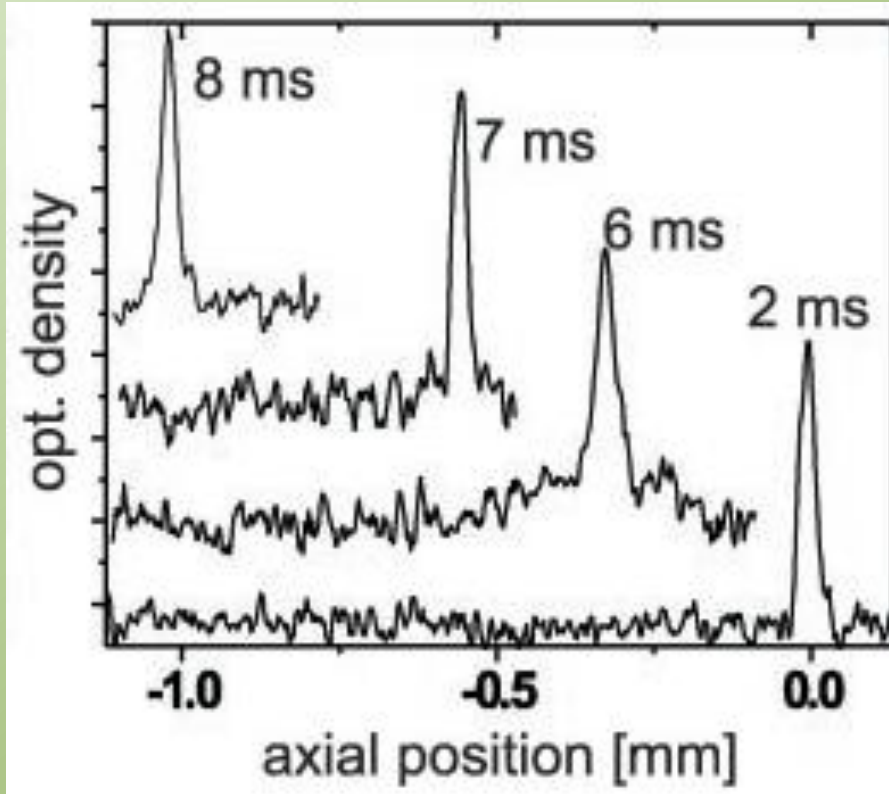
- Ανεξάρτητα BEC συμβάλλουν όπως οι δέσμες laser σχηματίζοντας κροσσούς συμβολής

- Όλα τα άτομα στο BEC συμπεριφέρονται όπως τα φωτόνια

➤ Ένα κβαντικό σύστημα σε «μακροσκοπικές» διαστάσεις
(ακτίνα $R \sim 50 \mu\text{m}$ – μήκος $L \sim 300 \mu\text{m}$)

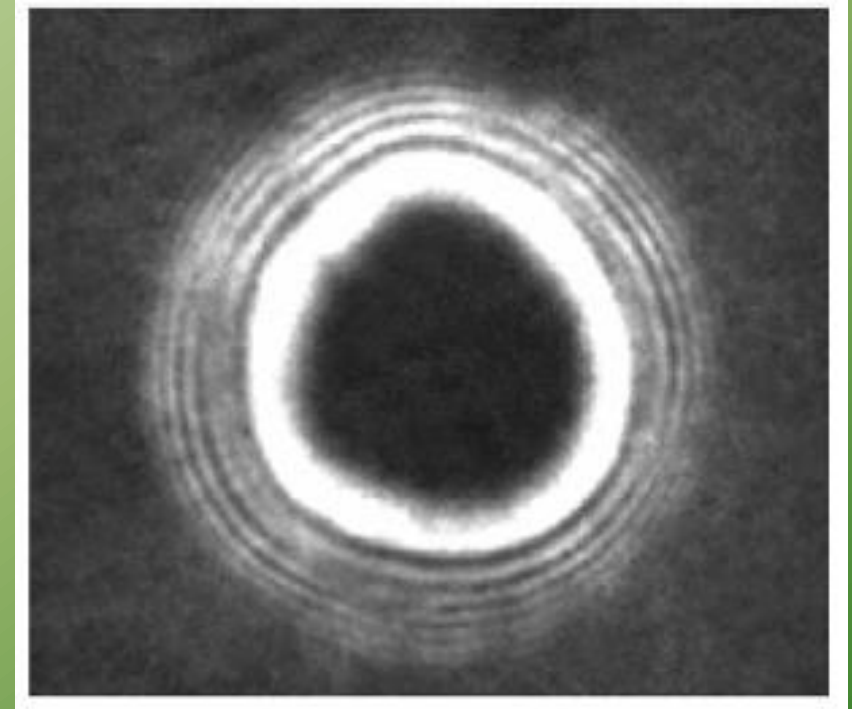
➤ Το πιο ψυχρό αντικείμενο στο Σύμπαν ($0.5 \text{ nK} < T < 200 \text{ nK}$)

BEC: Σολιτόνια σχήματος παλμού και κρουστικά κύματα με διασπορά - πειράματα



Σολιτόνιο BEC σχήματος παλμού

Το Σολιτόνιο, που είναι κβαντικό αντικείμενο, διαδίδεται σε **μακροσκοπική απόσταση** (βλ. σχήμα) της τάξης του **1 mm**!

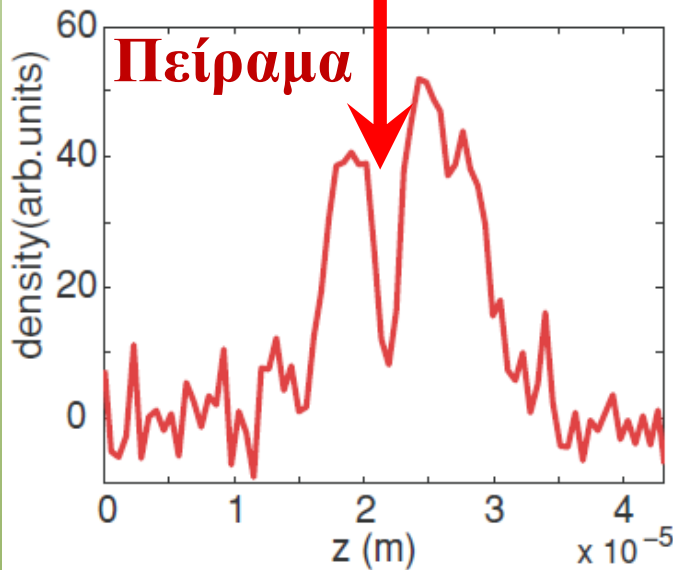
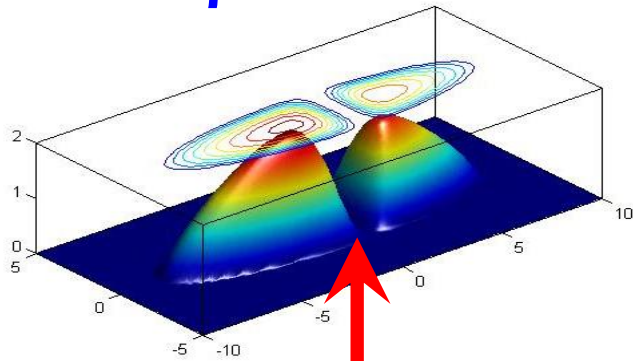


Κρουστικό κύμα με διασπορά που έχει ακτινική συμμετρία και σχηματίζεται σε BEC που «εκρήγνυται» όταν διεγερθεί από παλμό laser στο κέντρο του

ΒΕC: Σολιτόνια Οπές και Κβαντικοί Στρόβιλοι

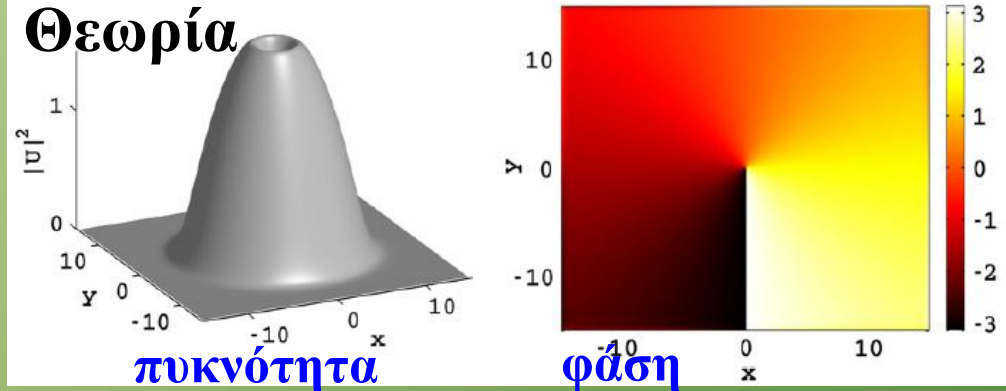
Σολιτόνιο Οπή

Θεωρία

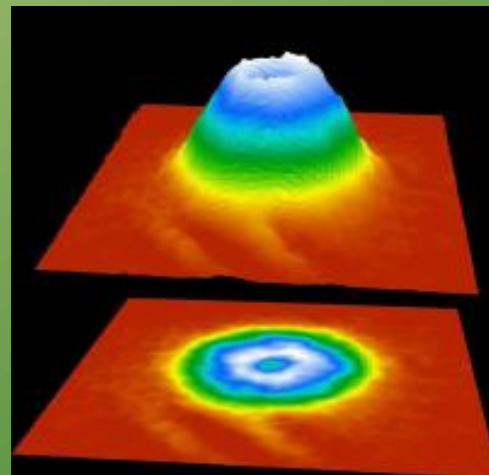


Κβαντικοί Στρόβιλοι

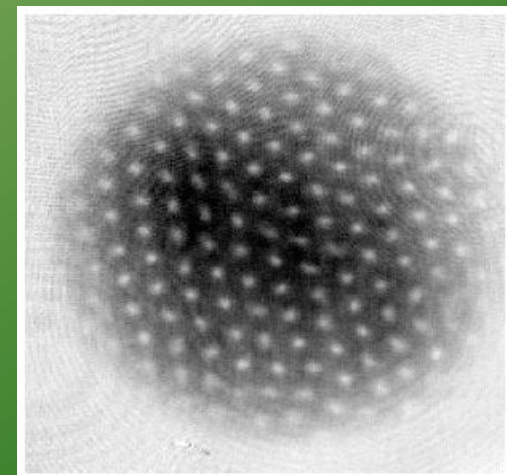
Θεωρία



Πείραμα:
ένας στρόβιλος

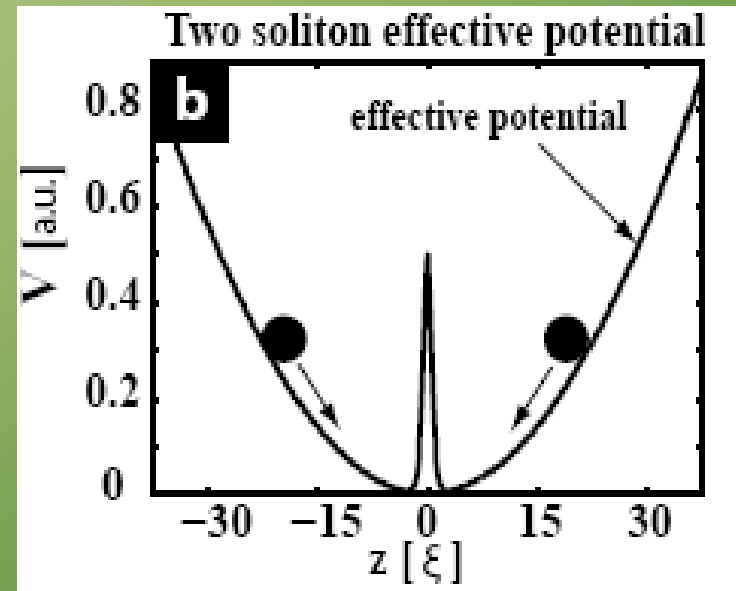
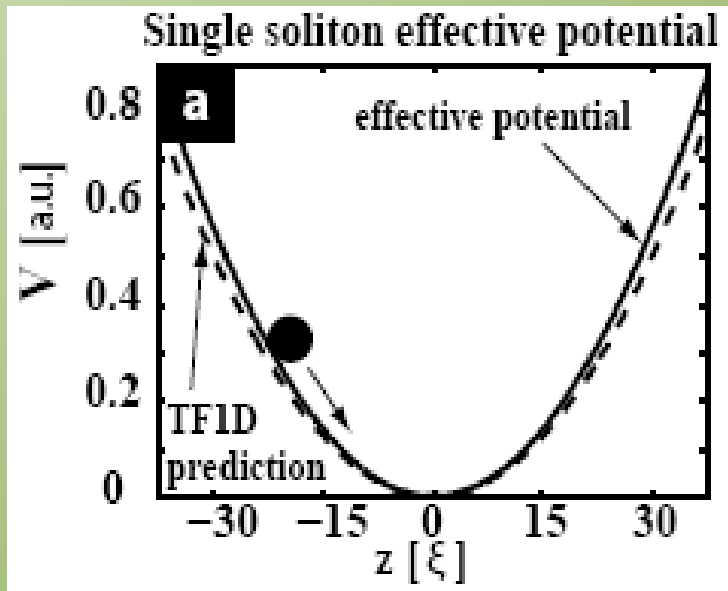


Πείραμα:
πλέγμα στροβίλων
Abrikosov lattice

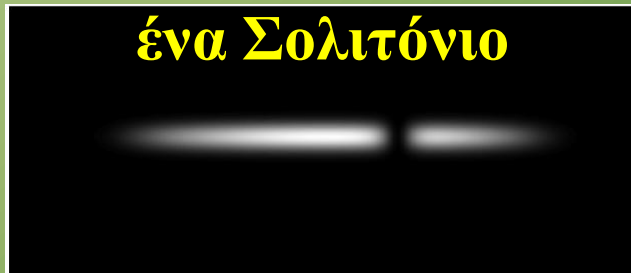


Κύματα ως σωματία (I) - Σολιτόνια

- ❖ Τα σολιτόνια στο BEC συμπεριφέρονται ως **κλασικά νευτώνια σωματία**, εκτελώντας ταλαντώσεις στο δυναμικό που παγιδεύει το BEC
- ❖ Δύο σολιτόνια συμπεριφέρονται ως σωματία που αλληλεπιδρούν μέσω **απωστικών δυνάμεων**



ένα Σολιτόνιο



δύο Σολιτόνια

