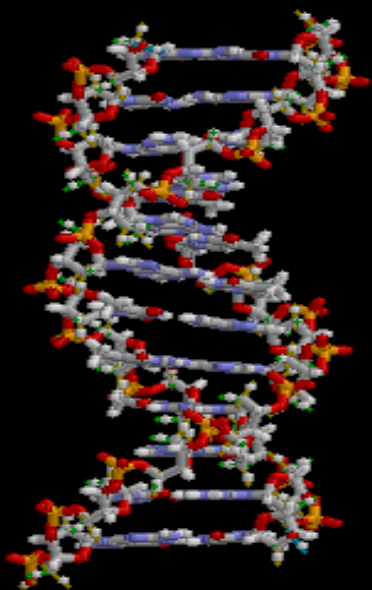




Ο θαυμαστός κόσμος της Φυσικής της Συμπυκνωμένης Ύλης

Από την Αλχημεία στον κόσμο των Νανοϋλικών

Γ. Π. Τριμπέρης



Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ



*Ένα ταξίδι σε ένα κόσμο που κάποτε
ονομάζαμεεπιστημονική φαντασία !*

Η Φυσική της Στερεάς Κατάστασης (Φ. Σ. Κ.) είναι ο κλάδος εκείνος της Φυσικής που μελετά τις ιδιότητες της στερεάς ύλης, των στερεών.

Οι **πειραματικοί Φυσικοί** αποκαλύπτουν με τα πειράματά τους τις διάφορες ιδιότητες των υλικών που μελετούν, οι δε **θεωρητικοί Φυσικοί** προσπαθούν να εξηγήσουν γιατί συμβαίνουν αυτά που παρατηρούν οι πειραματικοί.

Τα στερεά δημιουργούνται όταν φέρνουμε κοντά απομακρυσμένα άτομα ενός στοιχείου ή ομάδες ατόμων.

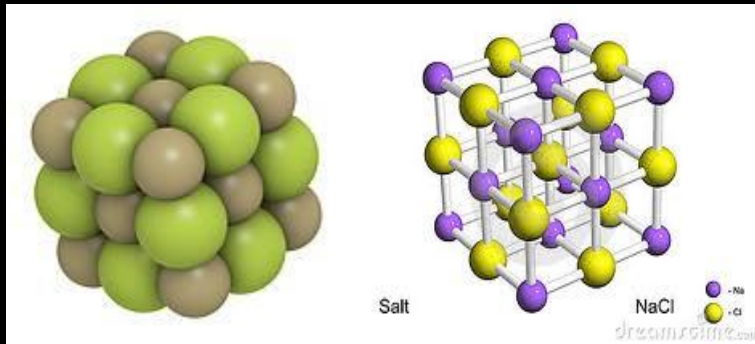
Οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (οι δεσμοί που δημιουργούνται), διαφόρων ειδών, τα συγκρατούν το ένα κοντά στο άλλο .

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον σταθερό σχηματισμό ενός
συγκεκριμένου υλικού

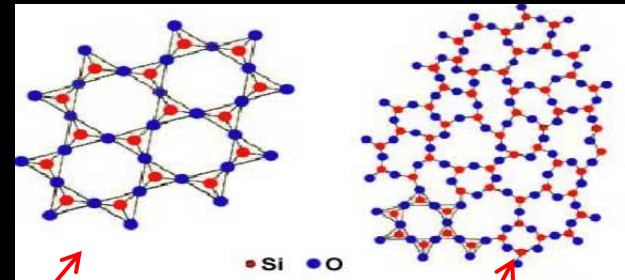
..... δημιουργώντας μια εκπληκτική ποικιλία δομών,

οι οποίες επειδή αποτελούνται από διαφορετικού είδους
άτομα και συνδεδεμένα μεταξύ τους με διαφορετικούς
τρόπους,

έχουν διαφορετικές ιδιότητες !!!!

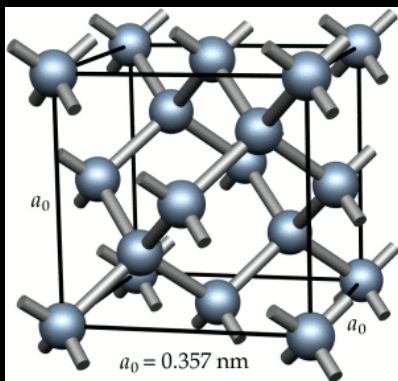


Αλάτι (NaCl)

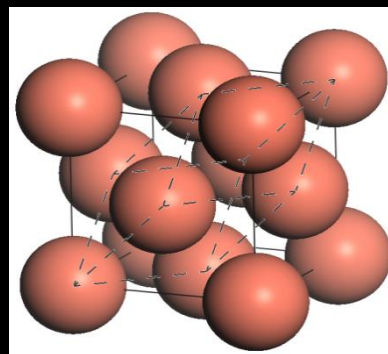


Κρυσταλλική άμμος (SiO₂)

Άμορφο (SiO₂)

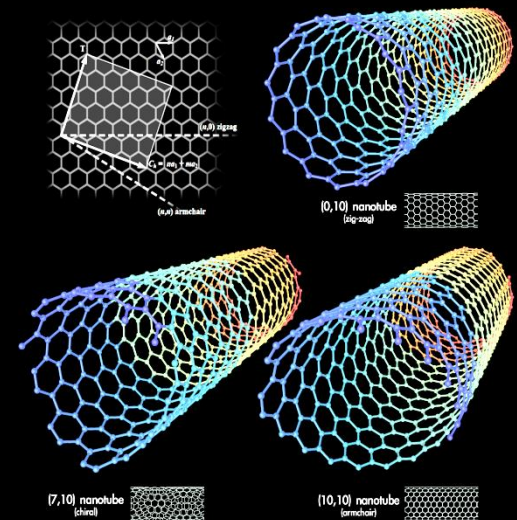


Διαμάντι



Χαλκός

Νανωσλήνες άνθρακα



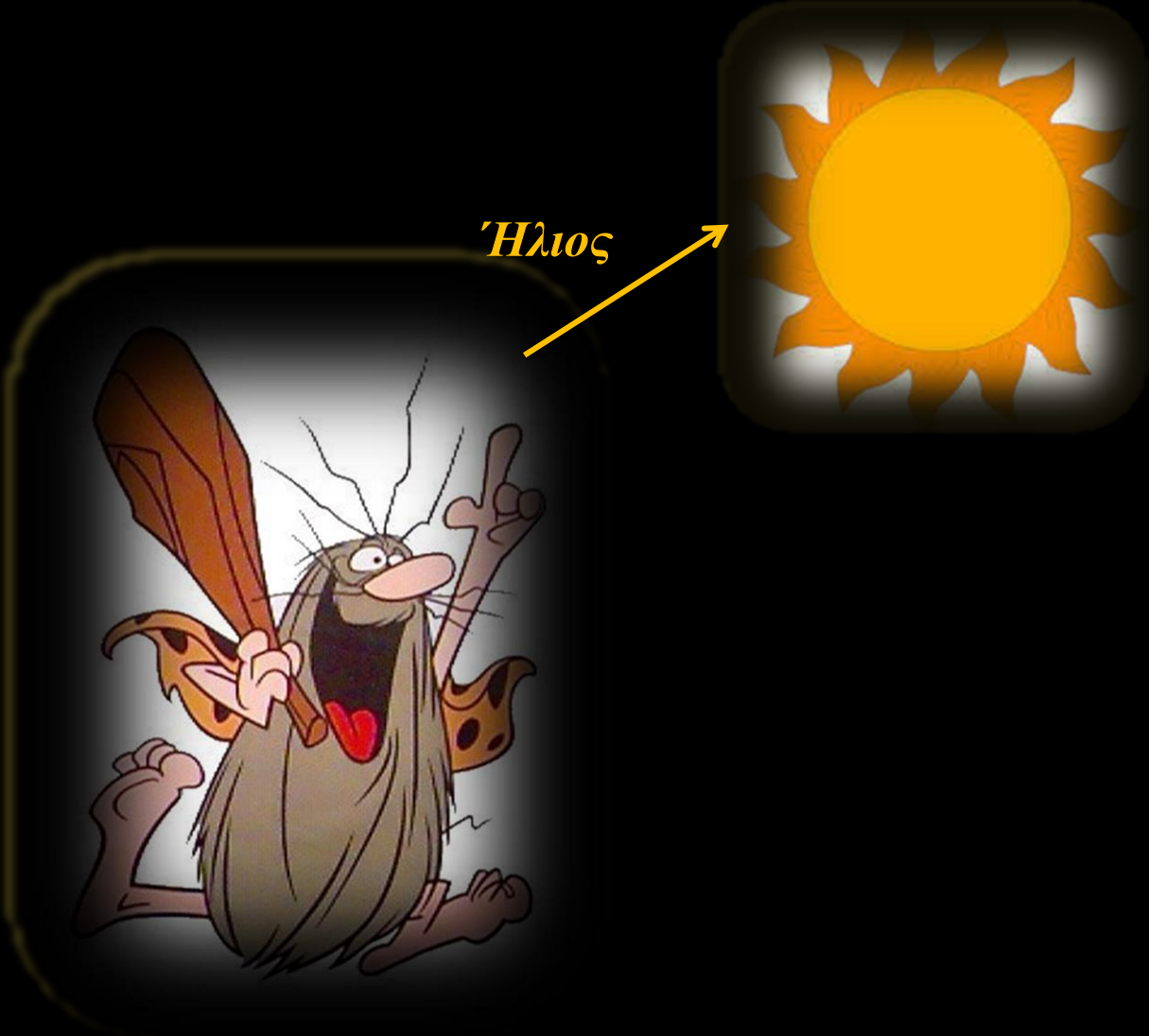
Όπως ήταν φυσικό

το ενδιαφέρον του ανθρώπου πρωτοστράφηκε σε ό,τι τον
εντυπωσίαζε με πρώτη ματιά.

Και αυτά ήταν **τα ουράνια σώματα!**

Αναρωτήθηκε γιατί δεν πέφτει ο ουρανός στο κεφάλι του
..... και έτσι γεννήθηκε η (ουράνια) **Μηχανική**.





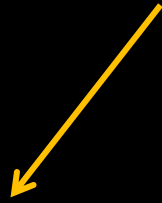
Ηλιος



Φεγγάρι



Galileo Galilei



*Τι είναι ετούτο ?
Άστο για
αργότερα*

Χάλκινο σύρμα



Να γιατί η Φυσική της Συμπυκνωμένης Ύλης

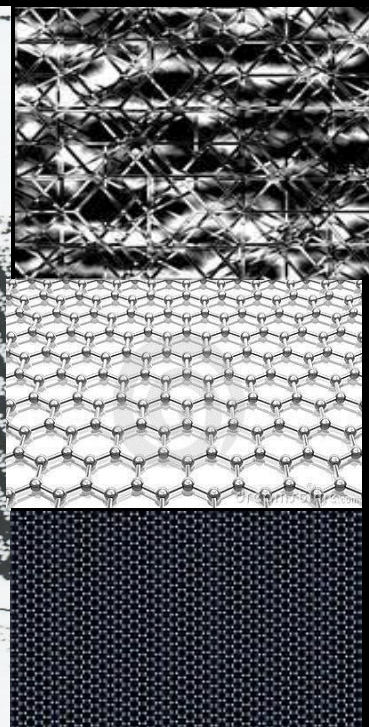
αναπτύχθηκε πολύ αργότερα !!!

Ο άνθρωπος εντυπωσιαζόταν για κάθε τι που συνέβαινε γύρω του.

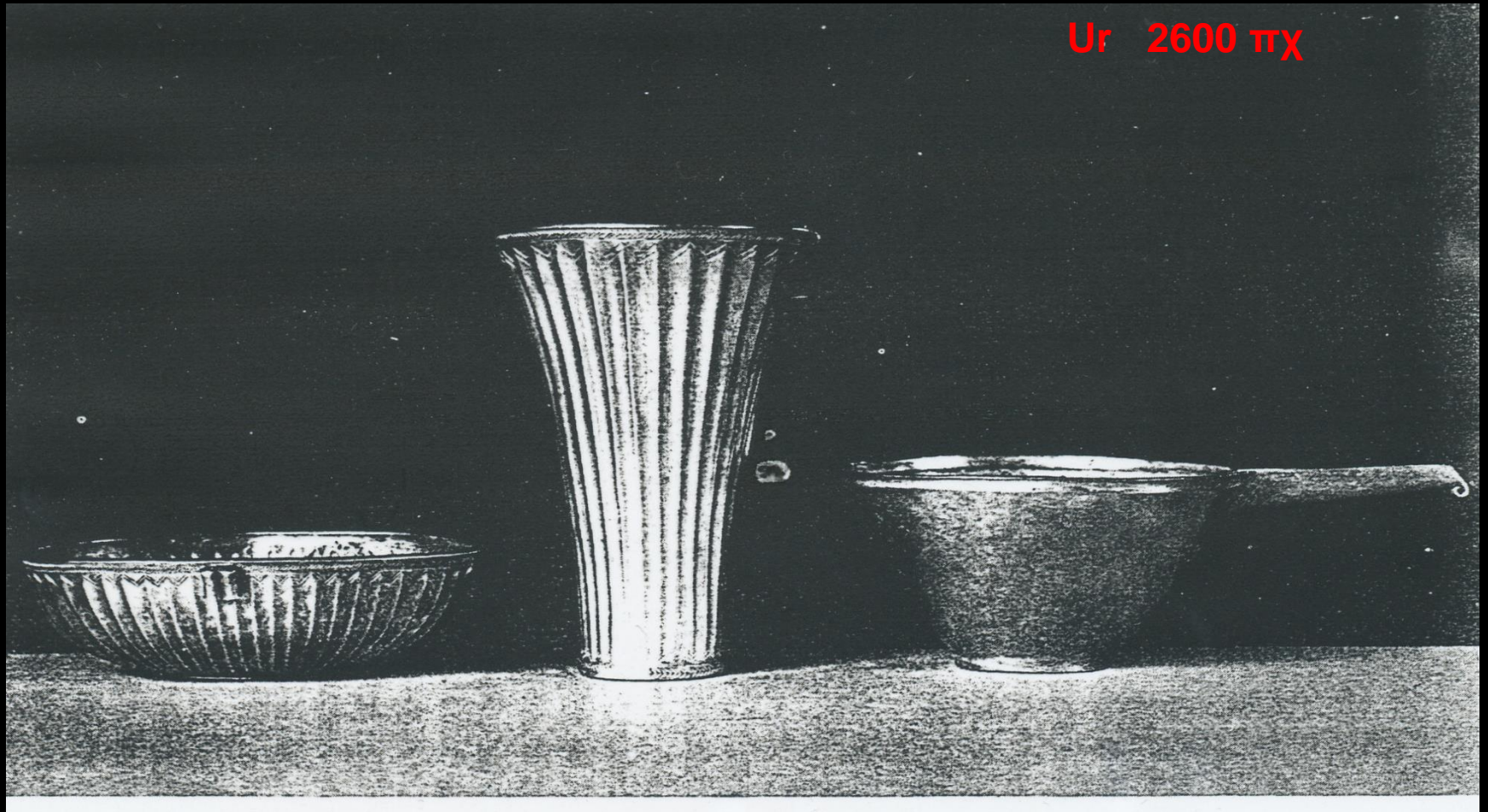
Πολύ αργότερα άρχισε να προβληματίζεται και να αναρωτιέται γιατί συμβαίνουν όλα αυτά.

...και δεν του έλειπε η φαντασία..... 

Τοίχοι ανακτόρων του **3.500 π.χ.** είναι διακοσμημένοι με τοιχογραφίες που θα μπορούσαν να αποτελούν εικόνες ενός σύγχρονου βιβλίου Κρυσταλλογραφίας που περιγράφει τα σχήματα που δημιουργούνται όταν φέρουμε άτομα κοντά για να σχηματίσουμε ένα κρυσταλλικό πλέγμα.



Μεταλλικά και κεραμικά αντικείμενα του 2.600 π.χ. , περίπου 100 γενεές πριν οι Έλληνες φιλόσοφοι αρχίσουν να αναρωτιούνται για τη φύση της ύλης, έχουν υποστεί επεξεργασία τεχνιτών οι οποίοι γνώριζαν τις ιδιότητές τους , χωρίς βεβαίως να μπορούν να τις ερμηνεύσουν.



Πραγματικά, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα πρακτικά όλα τα γνωστά υλικά είχαν ανακαλυφθεί δύο χιλιετίες πριν.



...και οι αρχαίοι Έλληνες φυσικά γνώριζαν την
εξόρυξη και την κατεργασία των μετάλλων



Ορυχείο χαλκού στη Σίφνο



Μεσοελλαδική ΙΙΙ (1700-1600 π.Χ. 1700-1600 π.Χ.)

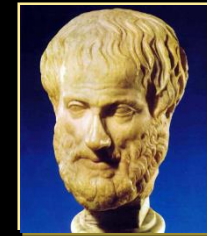


Αναξίμανδρος

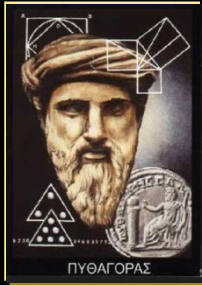


Δημόκριτος

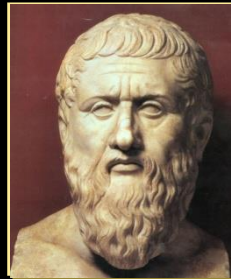
...διατύπωσαν και τις πρώτες σκέψεις για τη δομή της ύλης και τα σχήματα των στερεών....



Αριστοτέλης



Πυθαγόρας



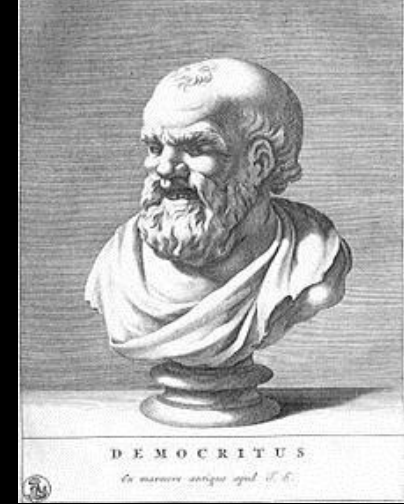
Πλάτωνας



Ευκλείδης



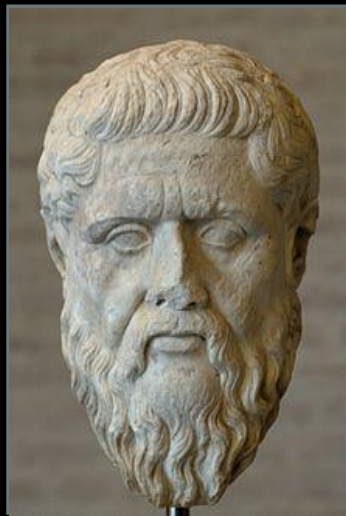
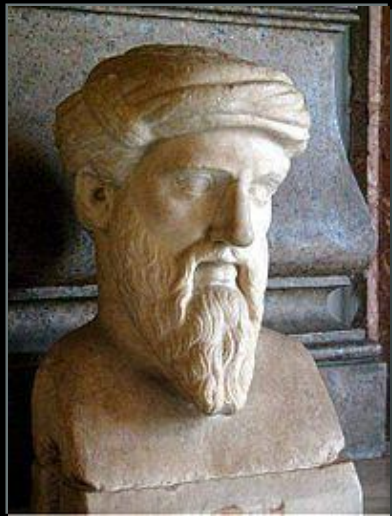
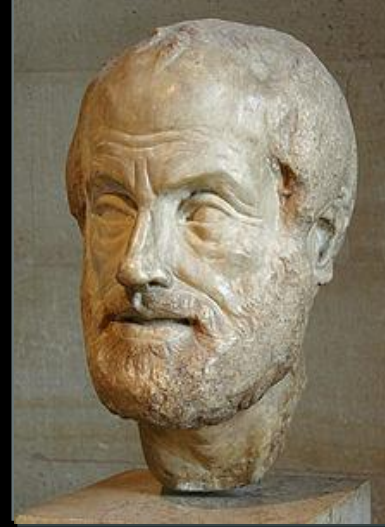
Η έννοια της δομής ήταν παρούσα στην αρχαία ελληνική φιλοσοφία με την υπόδειξη του **Αναξίμανδρου (611π.χ.-547 π.χ.)** ότι η ύλη ήταν ένα είδος συσσώρευσης διακριτών υποδομών από ένα ομογενές χωρίς μορφή άπειρο.



Μία από τις κύριες Σχολές ήταν εκείνη του **Δημόκριτου** που προσπάθησε να ερμηνεύσει τις ιδιότητες της ύλης με τη βοήθεια των συνιστώντων μερών, ατομικών και αδιαίρετων αλλά ικανών να φτιάχνουν σχηματισμούς ποικίλης πυκνότητας, σχήματος και προσανατολισμού.

Ο Αριστοτέλης έδωσε έμφαση στους σχηματισμούς των στοιχειωδών ποσοτήτων.

Η Αριστοτελική φιλοσοφία έδωσε ερμηνεία στις στοιχειώδεις δομές της ύλης πολύ πριν η μελέτη δομών μεγαλύτερης κλίμακας γίνει αντικείμενο της επιστήμης.



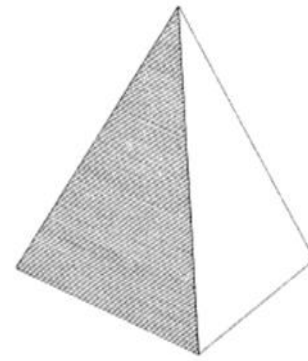
Ο Πυθαγόρας, ο Πλάτωνας, ο Ευκλείδης έδωσαν έμφαση στη Γεωμετρία η οποία χαρακτηρίζει εξωτερικά τις δομές της ύλης.



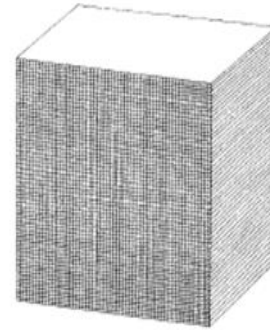
★ ΠΛΑΤΩΝΙΚΑ & ΑΡΧΙΜΗΔΕΙΑ ★ ΣΤΕΡΕΑ



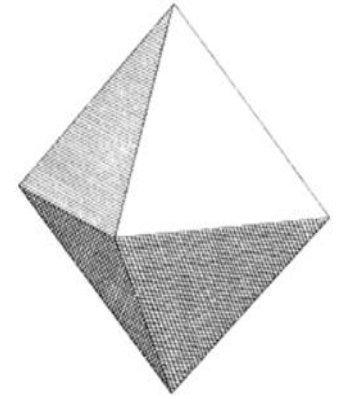
Daud Sutton



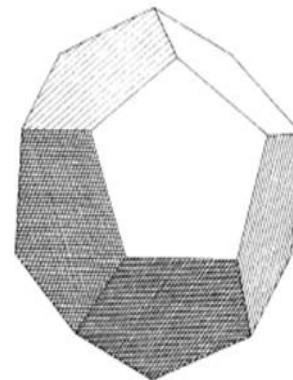
τετράεδρο



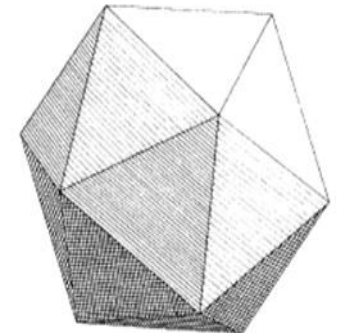
κύβος



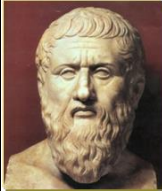
οκτάεδρο



δωδεκάεδρο



εικοσάεδρο



ΤΑ ΠΛΑΤΩΝΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ

*υπέροχες φόρμες που αναδύονται
από την ενότητα*

Φανταστείτε ότι βρρίσκεστε σε ένα ερημικό νησί και ότι γύρω σας υπάρχουν κλαριά και κομμάτια από φλοιό δένδρων. Αν αρχίσετε να πειραματίζεστε με τη δημιουργία τρισδιάστατων κατασκευών, είναι πιθανό να ανακαλύψετε πέντε «τέλεια» σχήματα. Το καθένα απ' αυτά δείχνει ίδιο κι απαράλλακτο από οποιαδήποτε κορυφή κι αν το παρατηρήσουμε· όλες οι έδρες του έχουν το ίδιο κανονικό σχήμα κι όλες οι ακμές είναι πανομοιότυπες. Οι σχετικές θέσεις των κορυφών τους αποτελούν την πιο συμμετρική κατανομή τεσσάρων, έξι, οκτώ, δώδεκα και είκοσι σημείων πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας!

Όμως εκτός από τα στερεά, υπάρχουν και άλλες μορφές της ύλης
με τις οποίες ασχολείται η Φ. Σ. Κ. , η οποία στις μέρες μας,
για τον λόγο αυτό, ονομάζεται



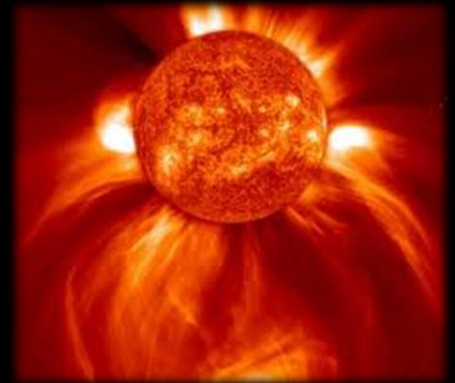
ΦΥΣΙΚΗ της ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗΣ ΥΛΗΣ.

Το πλάσμα είναι μία από τις τέσσερις θεμελιώδεις καταστάσεις της ύλης.

Οι άλλες τρεις είναι **η στερεά, η υγρή και η αέρια.**

Με τη θέρμανση ενός αερίου ή με την εφαρμογή ενός πολύ ισχυρού μαγνητικού πεδίου μπορούμε να ιονίσουμε τα μόρια ή τα άτομά του ώστε να μετατραπεί σε πλάσμα, το οποίο περιέχει φορτισμένα σωματίδια, θετικά ιόντα και αρνητικά ηλεκτρόνια . Τα συναντάμε στον ήλιο, στην ιονόσφαιρα, στους κεραυνούς.

Plasma!

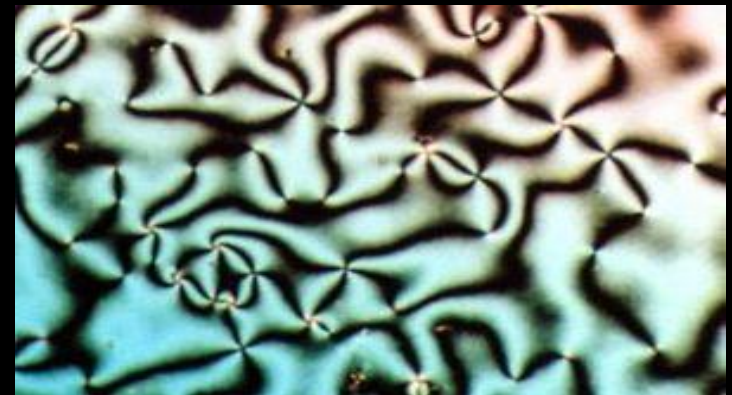
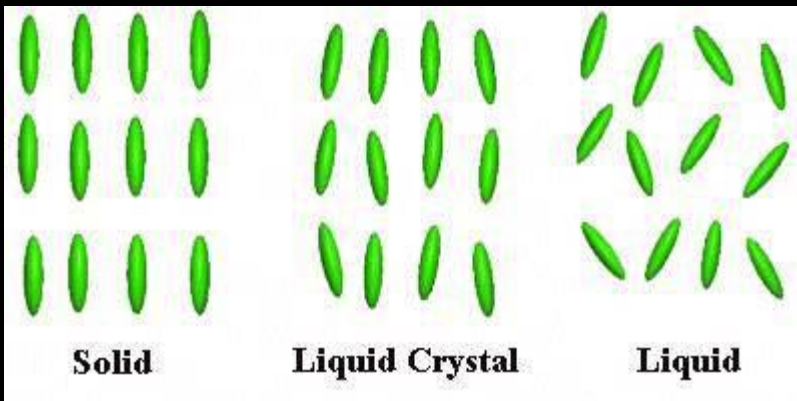


Τα συμπυκνώματα ύλης είναι ρευστά σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες που παρουσιάζουν ιδιότητες όπως είναι **η υπερρευστότητα**, η απουσία ιξώδους, η αυθόρμητη ροή έξω από δοχεία.

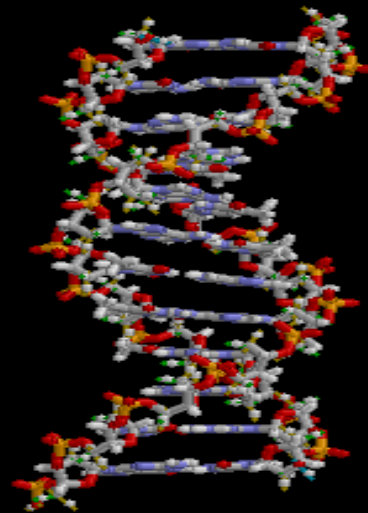
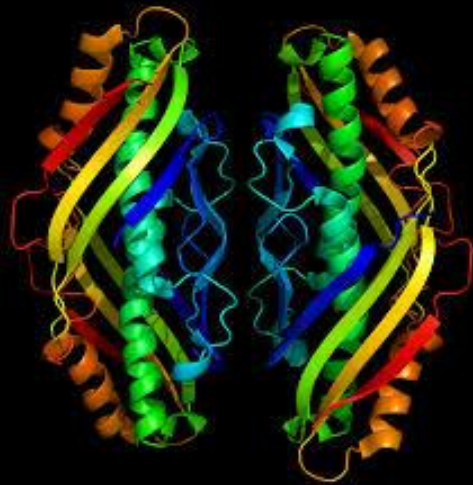
*Ένα υγρό στους -270 C
αψηφάει τη βαρύτητα!*



Μαλακή ύλη είναι οι υγροί κρύσταλλοι, τα κολλοειδή, τα πολυμερή, τα κοκκώδη και τα βιολογικά υλικά.....

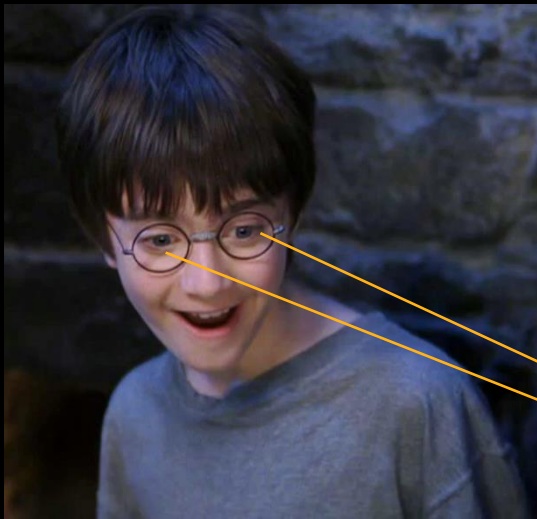


...όπως το DNA και οι πρωτεΐνες



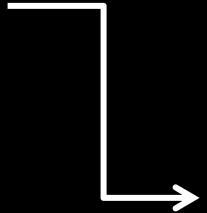
Τέλος τα **νανοδομημένα υλικά** ολοκληρώνουν το πανόραμα των υλικών με τα οποία ασχολείται

η **ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗΣ ΥΛΗΣ**



Ο ευρύτερος από όλους τους κλάδους της
Φυσικής.

Το **παράδοξο** όμως είναι ότι ανάμεσα σε **350** πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών **μόνο 1** (**ολογράφως** ένας) φοιτητής έχει ακούσει τον όρο «Φυσική Συμπυκνωμένης Ύλης ή Στερεάς Κατάστασης **!!!!**»

Αυτό συμβαίνει γιατί 

...τα «μέσα», και όχι μόνο, δίνουν έμφαση στην Αστρονομία, στη Φυσική των Στοιχειωδών Σωματιδίων και στη Βιολογία πολύ περισσότερο απ' ότι στην Φ.Σ.Υ.

Ένας από τους λόγους της έμφασης αυτής είναι το ότι το κοινό θέλει να μάθει πως άρχισαν όλα, πως λειτουργούν οι ατομικές βόμβες ή οι ζώντες οργανισμοί. Και τελευταία αν υπάρχει το «σωματίδιο ... του Θεού».

Το ενδιαφέρον για τους υπολογιστές ή για ηλεκτρονικές διατάξεις, βεβαίως ρίχνει κάποιο φως σε κάποια αντικείμενα της Φ.Σ.Υ. πότε –πότε, αλλά

νέο αποτελεί κάθε τι που εμπλέκει τον Einstein....

“Τι λυπάσαι, χρυσόψαρα είναι

ούτε που γνώρισαν θάλασσα ποτέ τους...”

Συμπληγάδες Συγκρίσεις (Κική Δημουλά)

Παρά τη σημαντική πρόοδο η οποία έχει σημειωθεί στην
τριτοβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα, εκπαιδευτικά και
ερευνητικά, στον τομέα της Φυσικής της Συμπυκνωμένης Ύλης,
ο κλάδος αυτός της Φυσικής δεν είναι γνωστός στην
δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Φοβάμαι ότι συχνά οι ηλεκτρικές ή οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών είναι «**Ηλεκτρισμός**» ή «**Μαγνητισμός**»,

χωρίς να γίνεται αναφορά στο γεγονός ότι τα παραπάνω, όπως και πολλές άλλες ιδιότητες και χαρακτηριστικά των υλικών, είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών και ιδιοτήτων οι οποίες αφορούν στα στερεά και στις οποίες αναφέρεται ένας ευρύτατος κλάδος της Φυσικής.

Οι όποιες αναφορές στους ημιαγωγούς
παραπέμπουν στις διατάξεις και στις εφαρμογές τους,
καθώς θεωρούνται αντικείμενο της Ηλεκτρονικής.

Η αλήθεια όμως είναι

πως.....

..... τα τελευταία 50 χρόνια έχουν δοθεί 22 Nobel

στην σιωπηλή πλειοψηφία των Φυσικών που εργάζονται στη Φ.Σ.Υ. και συναφή πεδία (οπτική, οργανολογία), 4 στη Χημεία σε αντικείμενα Φ.Σ.Υ. !!!

Συγκεκριμένα :

Lasers + optical methods : 1964, 1971, 1981, 1997, 2005

Tunneling and electron microscopy: 1986

Transistor + device applications : 1973, 2000, 2007

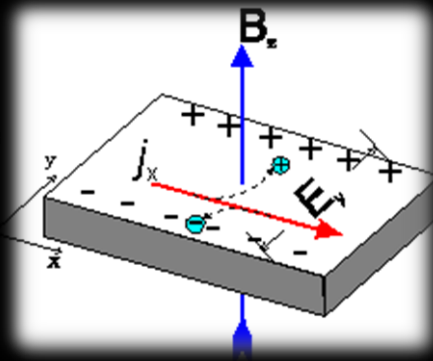
Superconductivity + QHE :1972, 1973, 1985, 1987, 1988, 2003

Low-T phenomena (BEC): 1962, 1996, 2001, 2003

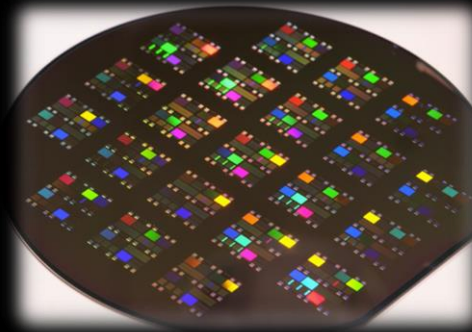
Theory : 1962, 1972, 1977, 1982, 1991, 2003

New materials :1987, 2007, **2010!!!**

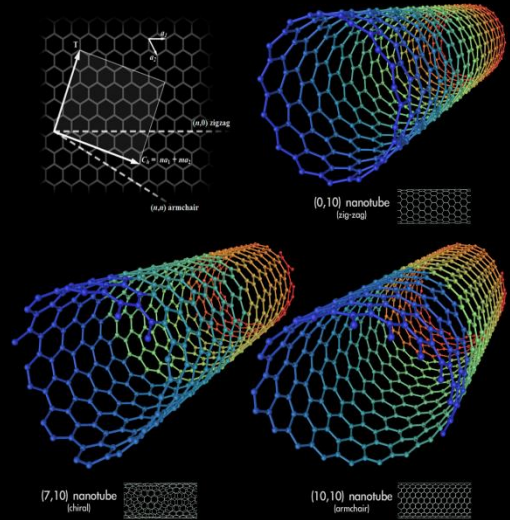
Chemistry: 1996, 2000



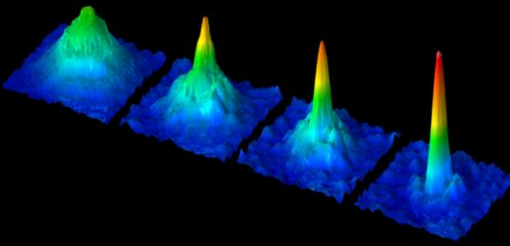
Quantum Hall effect



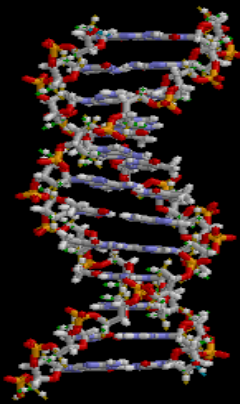
Photonic crystals



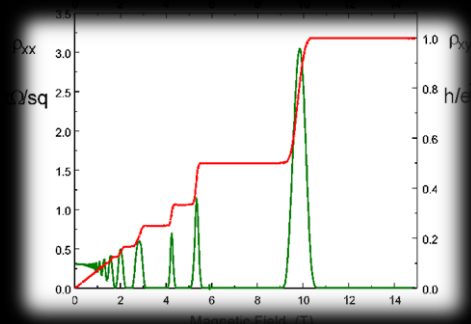
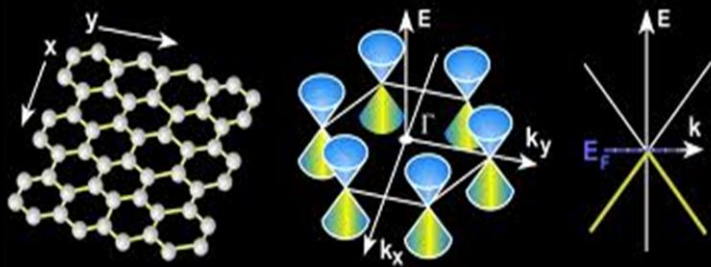
Carbon nanotubes



Bose-Einstein condensates



DNA devices



Οι **αλχημιστές** ήταν οι πρόδρομοι της σύγχρονης Φ.Σ.Κ.

Ένας κεντρικός στόχος τους ήταν να καταλάβουν τις αλλαγές των ιδιοτήτων της ύλης που είχαν ανακαλύψει οι τεχνίτες.

Οι αλχημιστές προσπάθησαν ουσιαστικά να αποκαλύψουν την Φυσική της Συμπυκνωμένης Ύλης.



Ο καθρέφτης
της τέχνης
και
της Φύσης

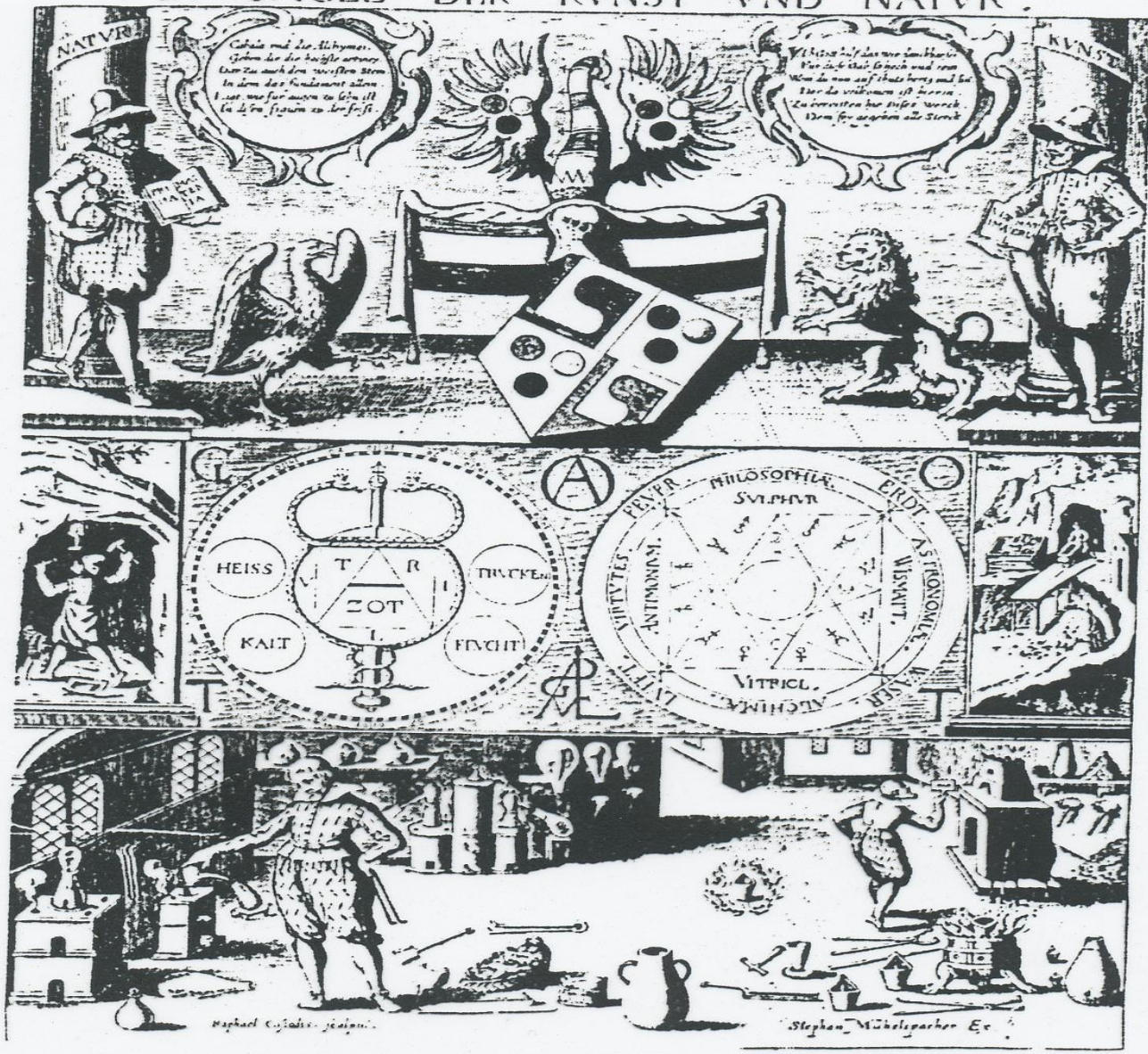
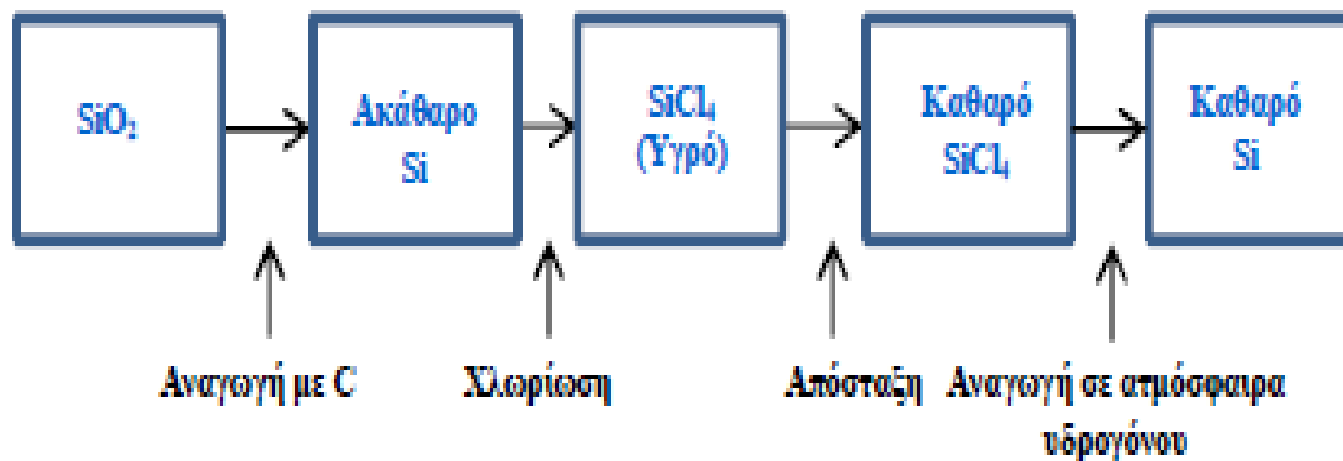


Figure 2.4 Frontispiece of an alchemical work showing both practical mining and assaying operations in association with mystic diagrams illustrating the separation and junction of qualities and structure in ideas and in matter. Stephen Michaelspacher, Augsburg 1617. (From Ploss et al 1970.)

“ Σε ένα κόκκο άμμου

κρύβεται όλη η σοφία της φύσης”

Ο Αλχημιστής



Οι αλχημιστές περιορίστηκαν σε επιφανειακές αλλαγές των υλικών χρησιμοποιώντας χημική επεξεργασία (μετατροπή σε χρυσό).

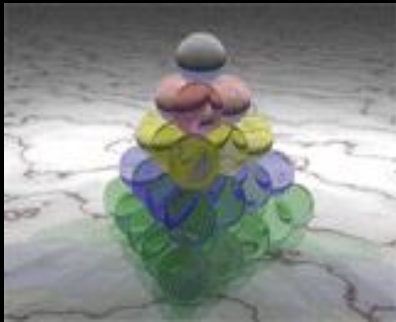
Στα τέλη του 16ου αιώνα ο **Paracelsus (1500 μ.χ.)**, ο πρώτος καθηγητής της Χημείας στον κόσμο, εισήγαγε 3 βασικά στοιχεία σαν τα βασικά συστατικά της ύλης. **Το αλάτι, το θειάφι και τον υδράργυρο.**

Paracelsus



Η αρχή της μοντέρνας επιστημονικής αναζήτησης συνήθως οριοθετείται με την ανάπτυξη της μαθηματικής αστρονομίας τον 16ο και 17ο αιώνα.

Γύρω στα 1600 μ.χ. με την εργασία του “**On the Hexagonality of the Snowflake**” **Johannes Kepler** προσπάθησε για πρώτη φορά να εξηγήσει τη διάταξη των ατόμων που σχηματίζουν τα στερεά, μελετώντας το πόσο πυκνά σφαίρες θα στοιβαχτούν σ’ ένα κυβικό και εξαγωνικό πλέγμα.

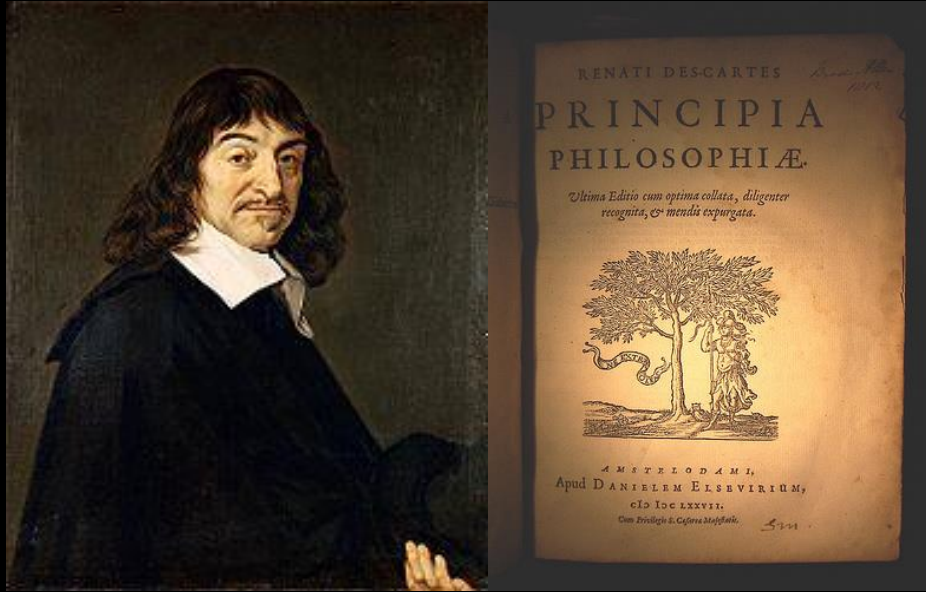


74%



Johannes Kepler

Ο Renè Descartes επηρέασε την εποχή του με τα
Principia Philosophiae (1644).



Renè Descartes

Θεώρησε ότι το σύμπαν χτίστηκε από 3 είδη σωματιδίων, δύο από τα οποία δημιουργούσαν σχηματισμούς που περιείχαν κανάλια μέσα από τα οποία τα μικρότερα σωματίδια μπορούσαν να κυκλοφορούν.

Η εισαγωγή του μικροσκοπίου στις αρχές του 17ου αιώνα είχε ένα σημαντικό αποτέλεσμα στη βιολογία, αλλά λίγο βοήθησε στην κατανόηση της ανόργανης ύλης.

Όταν **ο Robert Hook (1665)** γύρισε το νέο του μικροσκόπιο στο ατσάλινο ξυράφι με το οποίο ξυριζόταν το μόνο που είδε ήταν λίγη σκουριά και χαρακές από το τρόχισμα και το γυάλισμα. Πραγματική μικροδομή του χάλυβα παρατηρήθηκε μετά από δύο αιώνες.

Η πειραματική προσέγγιση της φυσικής των στερεών συνεχίσθηκε τον **18ο αιώνα αλλά η κύρια ανάπτυξη έγινε στη Χημεία.**

Μετρήσεις αντοχής, σκληρότητας, ελαστικότητας σε πραγματικά υλικά περιγράφηκαν **τον 17ο αιώνα.**

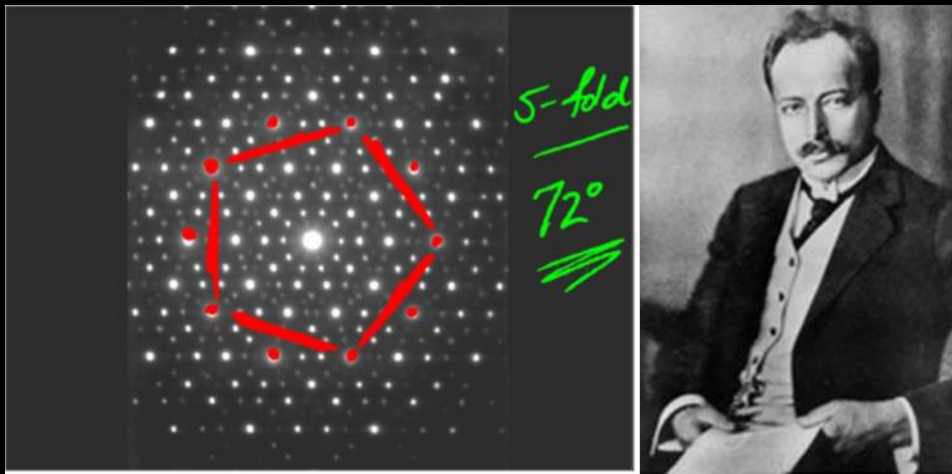
Κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του **18ου** και **19ου** αιώνα η μελέτη της δομής και των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών ήταν κυρίως δουλειά των ορυκτολόγων και μεταλλουργών, που μελετούσαν τη σύσταση των βράχων ή τη σκληρότητα που έχει το ατσάλι.

Η **Κρυσταλλογραφία** ξεκίνησε χιλιετίες πριν παρατηρώντας τις πολύτιμες πέτρες.



Μπαίνοντας στο εσωτερικό των στερεών

Οι τεχνικές με τη χρήση των **ακτίνων-Χ** ήλθαν να επεκτείνουν τη γνώση από τη μεταλλουργική μικροσκοπία. Οι μέθοδοι περίθλασης ξεκίνησαν με τα πειράματα του **von Laue (1913)**, ο οποίος πρότεινε την χρήση κρυστάλλων σαν φυσικά φράγματα περίθλασης για ακτινοβολία Χ η οποία είχε μόλις ανακαλυφθεί.



Max von Laue

Nobel Prize in Physics in 1914 “for his discovery of the diffraction of X-rays by crystals”.

Τα πειράματα περίθλασης του Laue έχουν ιστορική σημασία διότι απέδειξαν ότι τα κρυσταλλικά στερεά αποτελούνται από περιοδικά διατεταγμένα άτομα.

Η περίοδος του 1920, πραγματικά επαναστατική περίοδος για την ανάπτυξη της Φ.Σ.Κ., ανιχνεύτηκαν και έγινε αποδεκτή η σημασία και σπουδαιότητα των πλεγματικών ατελειών.

Η ανάπτυξη της θερμοδυναμικής των ιδανικών αερίων, **η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου** από τον **J. J. Thompson (1897)** είχε άμεση επίπτωση στις θεωρίες για την ερμηνεία της ανταπόκρισης ενός στερεού στην εφαρμογή πεδίων.

Ο P. Drude ανέπτυξε την πρώτη “επιτυχή” θεωρία της αγωγιμότητας των μετάλλων (1900). Ο νόμος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του Ohm (1826) καθώς και ο νόμος των Wiedemann – Franz (1853) απέκτησαν την πρώτη αυτοσυνεπή θεωρητική ερμηνεία.

Το 1905 ο Lorentz επανεξέτασε το πρόβλημα της αγωγιμότητας στα μέταλλα υπό το πρίσμα της ανάπτυξης της Στατιστικής Φυσικής και των ιδεών του Boltzmann (1870).

Ο Sommerfeld (1928) ακολουθώντας την γραμμή της θεωρίας του Lorentz αντικαθιστώντας την κλασική στατιστική με την στατιστική Fermi-Dirac έδωσε μία ακόμα ρεαλιστικότερη ερμηνεία.

Ο **P. Drude** θέλησε να απαντήσει για πρώτη φορά σε δύο βασικά ερωτήματα που αφορούσαν την συμπεριφορά των ηλεκτρονίων των μετάλλων όταν εφαρμόζουμε στο μέταλλο μια εξωτερική ηλεκτρική τάση.



➤ γιατί ένα μεταλλικό σύρμα παρουσιάζει ηλεκτρική αντίσταση?

και

➤ γιατί ισχύει η σχέση που συνδέει το ηλεκτρικό ρεύμα με την εφαρμοζόμενη τάση δηλ. ο νόμος του Ohm (1827) $I = \frac{V}{R}$?

Η διερεύνηση - απόδειξη του **νόμου του Ohm** από τον Drude μας

βοηθάει να καταλάβουν οι μαθητές του λυκείου με τι ασχολείται

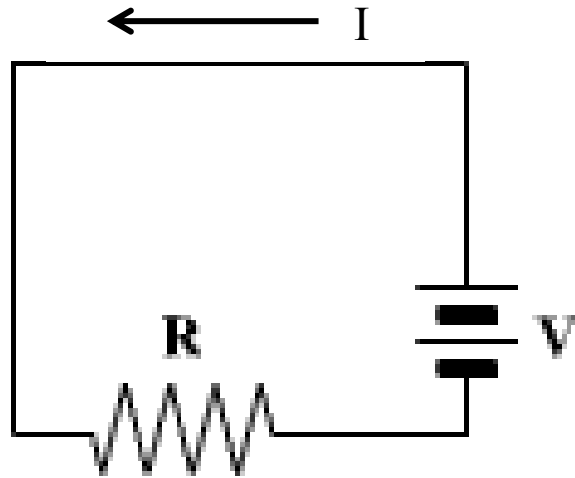
η Φυσική της συμπυκνωμένης ύλης.



...ας το δούμε



$$I = \frac{V}{R}$$



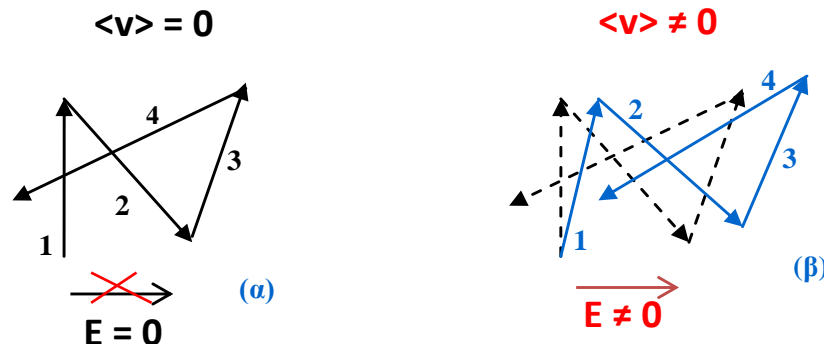
ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑ



Σε τι οφείλεται η αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα μεταλλικό σύρμα όταν επιδράσει επάνω τους ένα ηλεκτρικό πεδίο;;;;;

Κατά Drude.....

- Θεωρούμε ότι όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου (ηλεκτρόνια σθένους) εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο σταθερής έντασης \mathbf{E} , αποκτούν μια μέση ταχύτητα $\langle \mathbf{v} \rangle$



- Ως αποτέλεσμα έχουμε τη δημιουργία ενός σταθερού ρεύματος I που είναι ανάλογο της ταχύτητας $\langle \mathbf{v} \rangle$.

$$I = \text{σταθ.}, I \sim \langle \mathbf{v} \rangle,$$
$$\text{άρα } \langle \mathbf{v} \rangle = \text{σταθ.}$$

Λόγω του πεδίου E στο ηλεκτρόνιο ασκείται μια δύναμη :

$$F = (-e) E = m \gamma$$

η οποία επιταχύνει το ηλεκτρόνιο με μια επιτάχυνση :

$$\gamma = \frac{F}{m} = \frac{(-e)E}{m} \neq 0$$



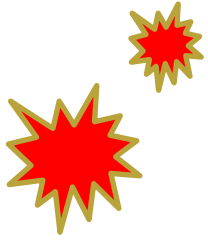
Όμως η ταχύτητα του ηλεκτρονίου όταν εφαρμόζουμε ένα σταθερό πεδίο παραμένει σταθερή.

Δηλ. **ΔΕΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΕΤΑΙ!**

Για να μην επιταχύνεται το ηλεκτρόνιο, καθώς κινείται μέσα στο μέταλλο, **θα πρέπει να συμβαίνει κάτι που να «φρενάρει» το ηλεκτρόνιο**, και που θα έχει ως αποτέλεσμα η μέση ταχύτητα των ηλεκτρονίων να παραμένει σταθερή.

$\langle v \rangle = \text{Σταθ.}$





Αυτό συμβαίνει γιατί το **καθώς ταξιδεύει μέσα στο μέταλλο** συγκρούεται με τους **ιοντικούς πυρήνες** των ατόμων του μετάλλου που ταλαντώνονται ή με **ηλεκτρικά φορτισμένες προσμίξεις ξένων ατόμων** (προσμίξεων) που υπάρχουν μέσα στο μέταλλο.



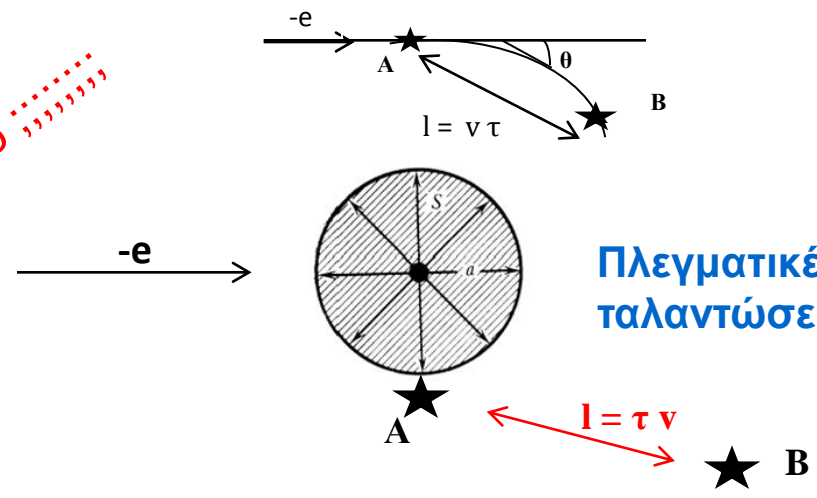
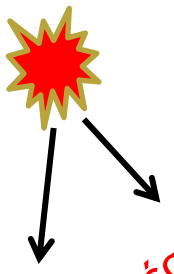
Γράφοντας τις εξισώσεις που περιγράφουν τις συγκρούσεις, δηλαδή τις φυσικές διαδικασίες που λαβαίνουν χώρα μέσα στο στερεό μπορούμε να αποδείξουμε τον νόμο του Ohm ότι δηλ.

$$I = \frac{V}{R}$$

και βρίσκουμε επίσης αν εξαρτάται η αντίσταση R πχ από την θερμοκρασία ή και από άλλους παράγοντες.

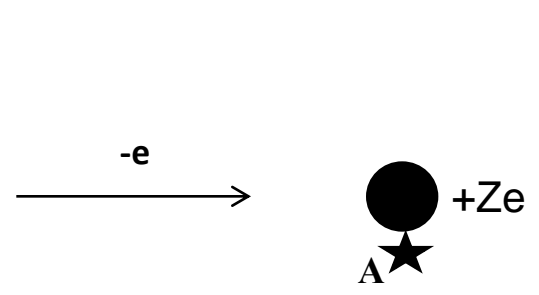


...Τι γίνεται μέσα στο μέταλλο



Πλεγματικές ταλαντώσεις (υψηλές θερμοκρ.)

$$R \sim T$$



Ξένα άτομα

Ιονισμένες προσμίξεις (πολύ χαμηλ. θερμοκρ.)

$$R \sim R_0$$

Ο **Kamerling Onnes** και οι συνεργάτες του το **1908** στο
Πανεπιστήμιο του Leiden υγροποίησαν το ήλιο.

Καθώς η θερμοκρασία ελαττωνόταν κάτω από τους 4.2 K (-269 βαθμοί Κελσίου ~ 4 Kelvin), η αντίσταση του Hg δεν έπαιρνε κάποια σταθερή τιμή, όπως θα περίμενε κανείς εξ αιτίας της σκέδασης των ηλεκτρονίων από τις προσμίξεις, αλλά η αντίσταση εξαφανιζόταν (1911).

Ο **Onnes** είχε ανακαλύψει την **Υπεραγωγιμότητα**.

Είναι σίγουρα ένα περίεργο παιχνίδι της τύχης το γεγονός ότι μία τόσο εντυπωσιακή επιβεβαίωση της κβαντομηχανικής συμπεριφοράς της ύλης σε μακροσκοπικό επίπεδο ανακαλύφθηκε πριν από την ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας.

Ήταν το **1957** που οι **J.Bardeen, L. Cooper** και **J.Schrieffer** έδωσαν την ερμηνεία του φαινομένου, έχοντας περάσει μισός περίπου αιώνας αναζητήσεων (**Meissner 1933, London 1935, Frohlich 1950**).



Kamerling Onnes

Nobel prize in Physics **1913**

Nobel prize in Physics **1972**



John Bardeen



Leon Neil Cooper



John Robert Schrieffer

Αψηφώντας τη βαρύτητα και πάλι !!!!!!!



How Superconducting Levitation Works.mp4

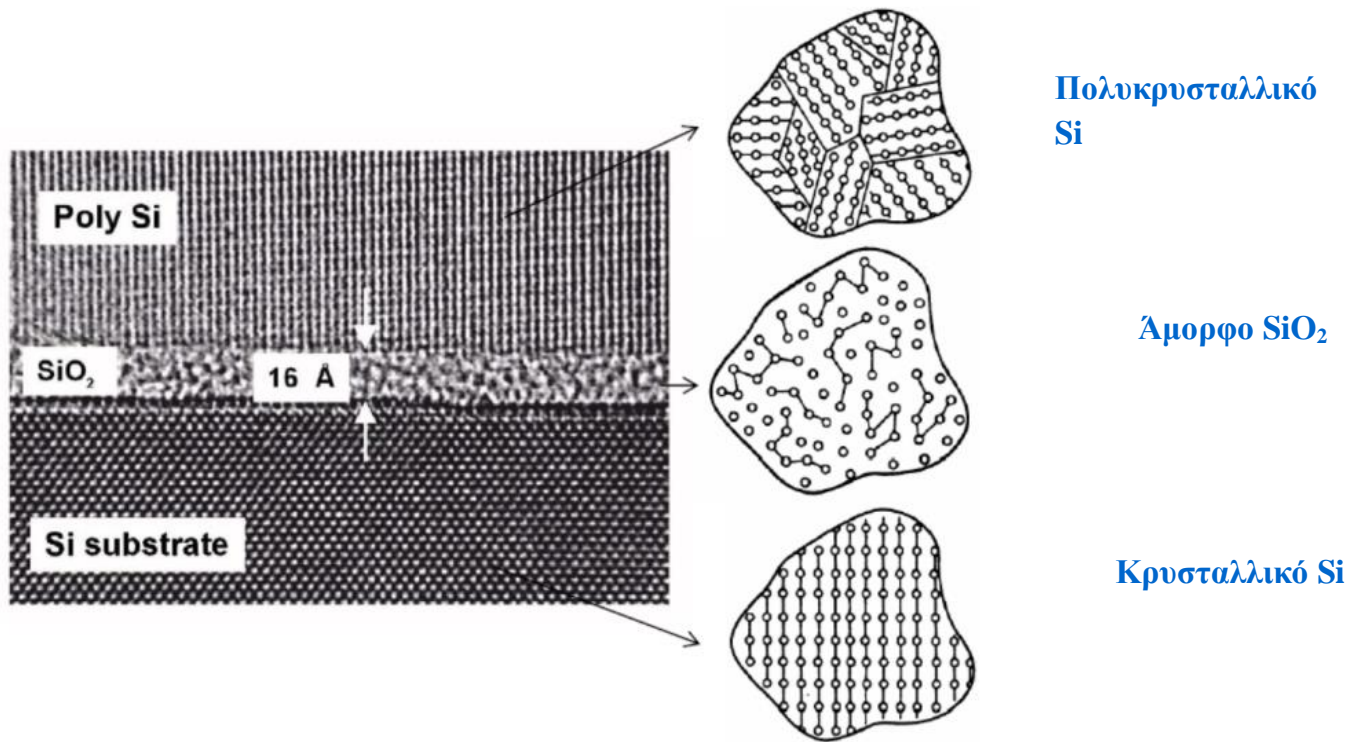
*Ο **Michael Faraday** φαίνεται ότι ήταν ο πρώτος που παρατήρησε στον AgS αρνητικό θερμικό συντελεστή αντίστασης, ότι, δηλαδή, η αντίστασή του έπεφτε με την αύξηση της θερμοκρασία ενώ στα μέταλλα αυξανόταν (**1833**).*

*Οι ημιαγωγοί ήταν πλέον κομμάτι της
επιστημονικής πραγματικότητας*

Ένα κομμάτι ενός κρυστάλλου πυριτίου όπου υπάρχουν και άτομα φωσφόρου έχει πολύ διαφορετικές ιδιότητες από ένα που έχει μόνο άτομα πυριτίου. Για τον λόγο αυτόν για πολύ καιρό δεν καταλάβαιναν την σημασία των ημιαγωγών, πιστεύοντας ότι αφού δεν έχουν όλοι την ίδια ομοιόμορφη συμπεριφορά, όπως ένα μέταλλο, δεν αξίζει κανείς να ασχολείται με αυτούς.

**“One should not work on semiconductors that is a filthy mess;
Who knows whether they really exist.”**

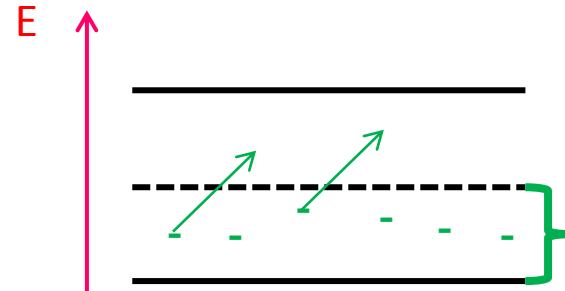
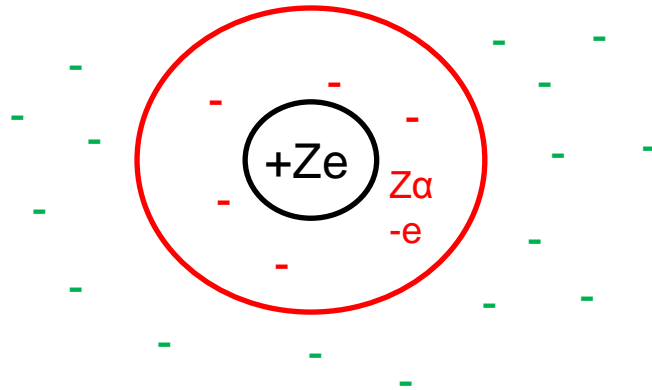
(W. Pauli, 1931)



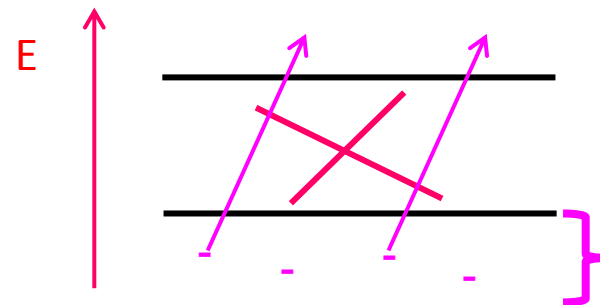
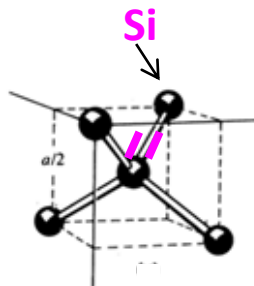
Διάφορες μορφές Si.

ΜΕΤΑΛΛΟ (Σταθερός αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων)

($Z-Z\alpha$) ελεύθερα ηλεκτρόνια σθένους



ΗΜΙΑΓΩΓΟΣ (Ο αριθμός των ηλεκτρονίων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας)



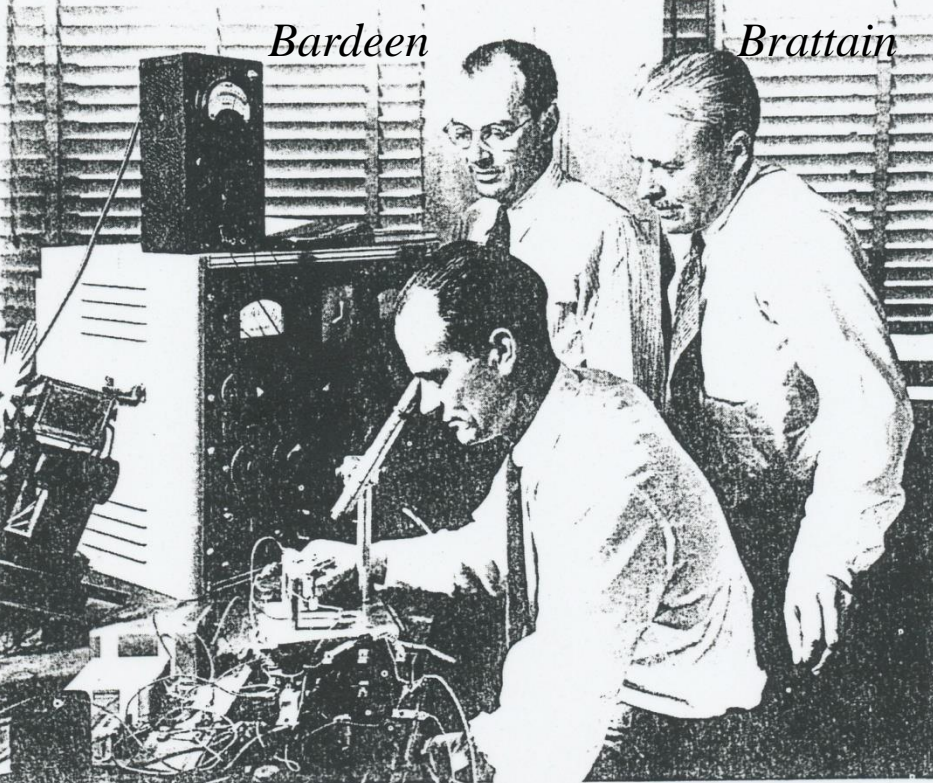
Κατά την διάρκεια του πολέμου, **1939-1945** υπήρξε μια εκτεταμένη ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών για χρήση τους σε μικροκυματικούς ανιχνευτές.

Η πραγματική πρόοδος έγινε μετά. Επίκεντρο το Purdue University υπό τον **Karl Lark-Horovitz** και στα εργαστήρια της Bell Telephone υπό τον **William Shockley**.

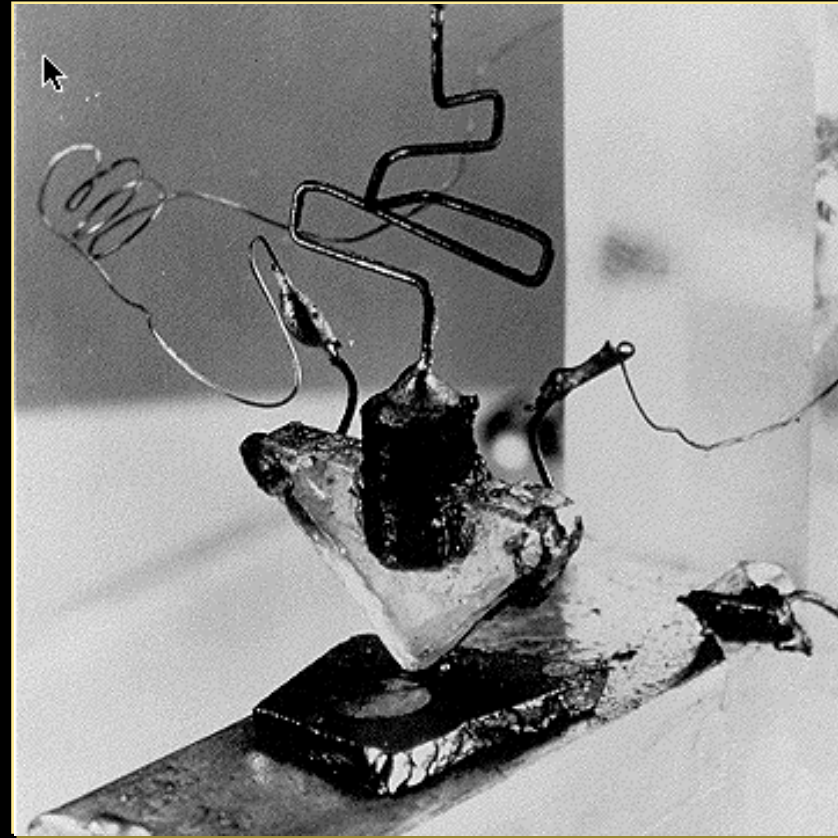
Το **1947** οι **Bardeen** και **Brattain** παρατήρησαν διπολική δράση τρανζίστορ. Αυτό ξεκίνησε την έκρηξη στην έρευνα των ημιαγωγών και των τεχνολογικών εφαρμογών τους.

Bardeen

Brattain



Shockley



The Nobel Prize in Physics 1956

"for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect"



**William Bradford
Shockley**



John Bardeen



Walter Houser Brattain

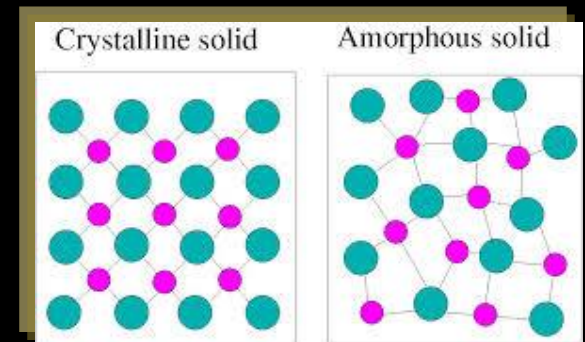
ΑΜΟΡΦΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Παραδοσιακά ο όρος «**Φ.Σ.Κ.**» σημαίνει Φυσική των κρυστάλλων.

Οι όροι «**solidity**» και «**crystallinity**» συνήθως χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα.

Στη μελέτη των στερεών μπορεί, όμως να βρεθούμε μπροστά σε μια σημαντικά διαφορετική κατάσταση, όπως αυτή ενός

όχι - κρυσταλλικού στερεού, όπως ένα γυαλί.



Βασικά, εξ ορισμού, ένα τέτοιο υλικό **δεν παρουσιάζει μια συμμετρική διευθέτηση των ατομικών συστατικών του**. Ειδικά, ενώ υπάρχουν κάποιοι τοπικοί σχηματισμοί γειτονικών ατόμων στο υλικό, οι οποίοι προτιμώνται από άλλους, **δεν υπάρχει τάξη που να εκτείνεται σε μεγάλη έκταση**.

Τα υλικά αυτά είναι γοητευτικά και προκλητικά για τους ερευνητές γιατί πρέπει να τα διερευνήσεις χωρίς τη βοήθεια των πολύ βολικών εργαλείων όπως οι καλές Bloch συναρτήσεις ή η θεωρία ομάδων κ.λπ., την χρήση των οποίων σου επιτρέπει η περιοδικότητα και η κρυσταλλική συμμετρία.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι η κίνηση των φορέων μέσα στο «κυρίαρχο συστατικό». Ειδικά, η απουσία “ευρείας έκτασης” τάξης, η πιθανή παρουσία “κενών”, ορίων άλλων συστατικών, παγίδων ή προσμίξεων συνεισφέρουν στην επιβολή ενός “πεδίου αταξίας” (disorder field) πάνω στο “κυρίαρχο συστατικό”.

Έτσι, το περιβάλλον που επιδρά στον φορέα καθώς κινείται μεταξύ “σχεδόν-ισοδύναμων” σημείων, γενικά αλλάζει. Αποτέλεσμα αυτού η ύπαρξη του “πεδίου αταξίας”, μας γεννά ορισμένα ερωτηματικά, όπως:

- Πώς επηρεάζεται η κίνηση ενός φορέα μεταξύ δύο γειτονικών σημείων, όταν αυτά δεν είναι ισοδύναμα; Για μεγάλη αταξία το σωματίδιο εντοπίζεται (ανίκανο να κινηθεί στους 0K).
- Αν ο φορέας μπορέσει να κινηθεί, π.χ. για $T \neq 0K$, σε ποιο σημείο θα κινηθεί; Δηλαδή ποια διαδρομή θ' ακολουθήσει και πόσο γρήγορα θα κινηθεί; Αυτό αποτελεί την κεντρική ερώτηση στη **“θεωρία διαφυγής” (percolation theory)**.
- Τέλος σε τι βαθμό μπορεί η παρουσία ενός φορέα να μεταβάλλει τις θέσεις (και να τις καταστρέψει) των ατόμων της γειτονιάς τους; Αυτό το ερώτημα οδηγεί στην έννοια της **“αυτό-παγίδευσης” (self-trapping)** ενός φορέα.

The Nobel Prize in Physics 1977

"for their fundamental theoretical investigations of the electronic structure of magnetic and disordered systems"



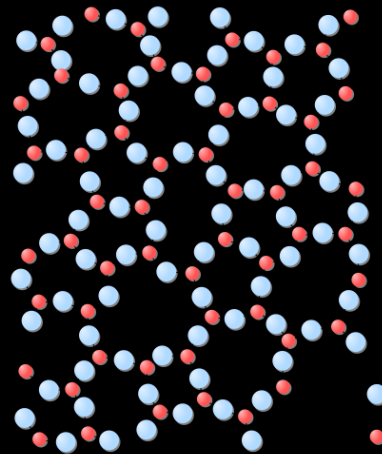
**Philip Warren
Anderson**



**Sir Nevill Francis
Mott**



**John Hasbrouck
van Vleck**



The amorphous structure of glassy Silica (SiO_2). No long range order is present, however there is local ordering with respect to the tetrahedral arrangement of Oxygen (O) atoms around the Silicon (Si) atoms.

Και στις μέρες μας ???????

Καλώς ορίσατε στο ... Νανο-σύμπαν !!!

$$1 \text{ nano} = \frac{1}{1.000.000.0000} \text{ m}$$



Αντιστοιχεί στο $\frac{1}{100.000}$ του πάχους μιας τρίχας.

ΧΑΜΗΛΟΔΙΑΣΤΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σήμερα από την καλωδιακή τηλεόραση στις ηλεκτρονικές τραπεζικές συναλλαγές, από τα κινητά τηλέφωνα στα προηγμένα radar, τα νανο-υλικά και ηλεκτρονικές τους διατάξεις τέτοιων διαστάσεων, αλλάζουν την καθημερινή μας ζωή.



Τα ηλεκτρόνια κινούνται αντί σε τρεις διαστάσεις σε δύο ή σε μια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα νέα φαινόμενα τα οποία εκμεταλλευόμαστε για να κάνουμε ταχύτερους υπολογιστές ή μνήμες μεγαλύτερης χωρητικότητας κλπ κλπ.



Αυτό είναι αποτέλεσμα της ισχυρής αλληλεπίδρασης των:

- επιστημόνων μελέτης των υλικών,
- σχεδιαστών νέων διατάξεων και των
- μηχανικών συστημάτων εφαρμογών.

σε συνδυασμό με την ανάπτυξη ενός εξελιγμένου λογισμικού και



➔ φέρνουν στην αγορά προϊόντα που ποτέ δεν
φантаζόμαστε ότι θα χρειαζόμαστε και που, σήμερα,
πολλοί πιστεύουν ότι χωρίς αυτά
δεν μπορούν να ζήσουν !!!!



Οι κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας, η οποία πριν μερικά χρόνια ήταν αντικείμενο επιστημονικής φαντασίας ήταν:

Νέα υλικά συστήματα (material systems)

GaAs, In GaAs, AlGaAs, HgCdTe κλπ. και οι ετεροδομές τους.

Διαδικασίες παρασκευής (processing) και κατασκευής (manufacturing)

επιτρέπουν διατάξεις και κυκλώματα να φτιάχνονται φθηνά.

Η εμπλοκή των Φυσικών

φέρει νέες ιδέες για ηλεκτρονικές διατάξεις (transistors, lasers, detectors, modulators κλπ) ενώ παράλληλα η διερεύνηση των φυσικών μηχανισμών λειτουργίας τους συμβάλλει στη βελτίωσή τους.

Η πρόοδος στην ανάπτυξη λογισμικού

το οποίο διασυνδέει ηλεκτρονικά και οπτοηλεκτρονικά συστήματα αποτελεσματικά και επιτρέπει τα συστήματα να επιτυγχάνουν σύνθετους σκοπούς

Επειδή ουσιαστικά όλες οι ηλεκτρονικές και οπτικές ιδιότητες μίας ημιαγωγικής διάταξης εξαρτώνται από την δομή των ζωνών εγείρεται ένα προφανές **ερώτημα**:

Μπορεί η δομή των ζωνών ενός υλικού να αλλάξει;

Η δυνατότητα αυτή θα αποτελούσε ένα πανίσχυρο εργαλείο.

ΝΑΙ

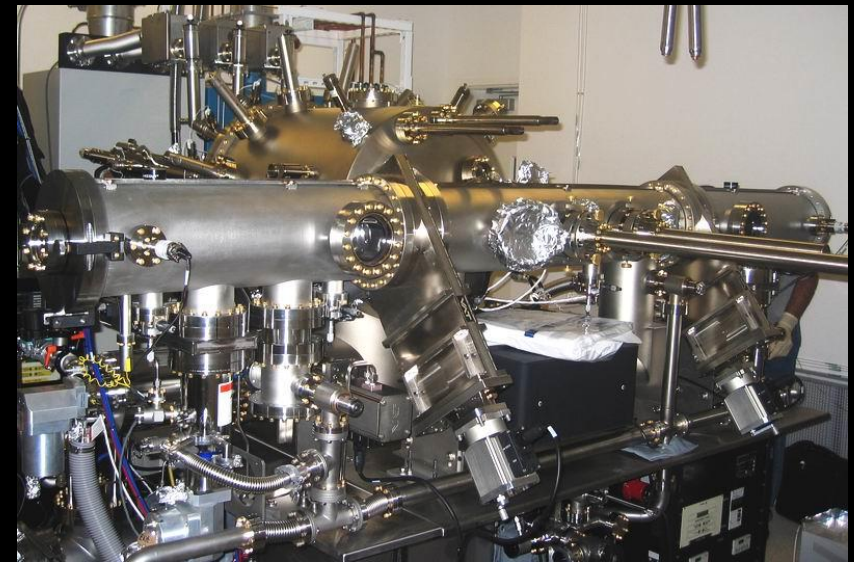
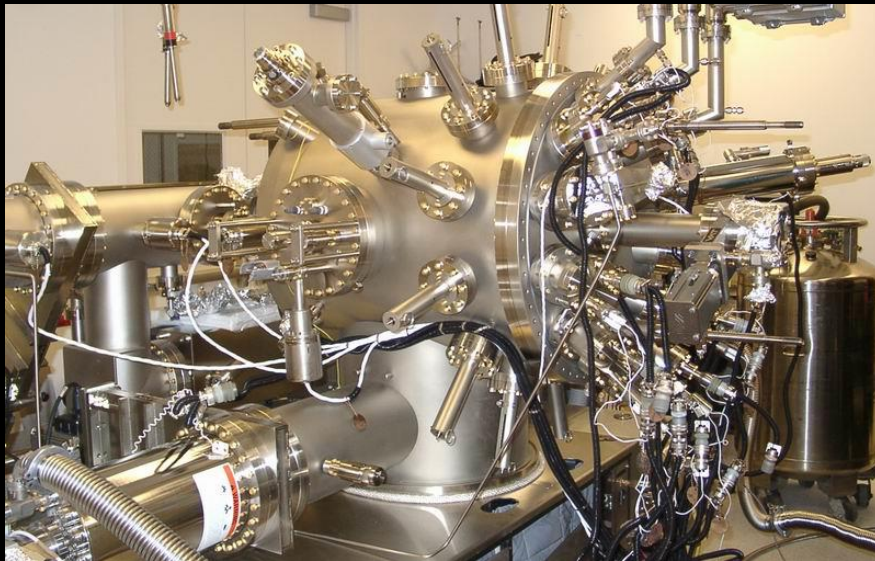
Τα επαναστατικά βήματα στη διαμόρφωση της δομής των ζωνών γίνονται παραγωγικά όταν κανείς μπορέσει να καταλάβει την κβαντομηχανική συμπεριφορά που διέπει αυτές τις διαμορφώσεις και τον έλεγχό τους .

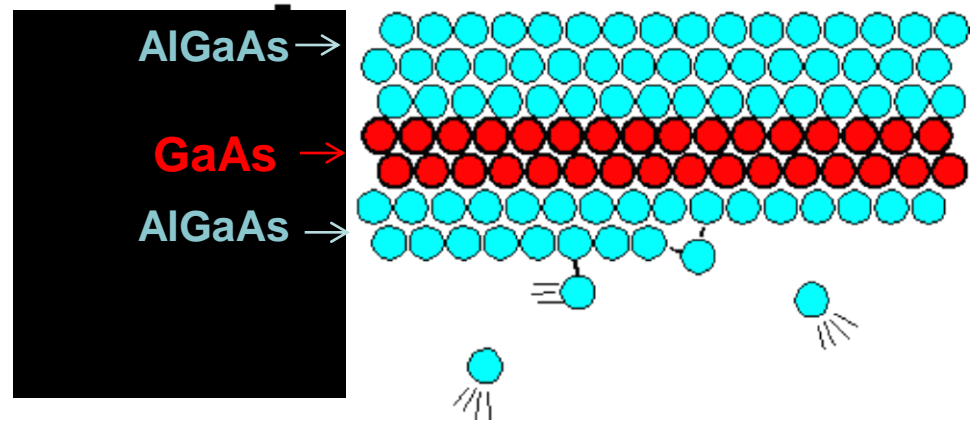
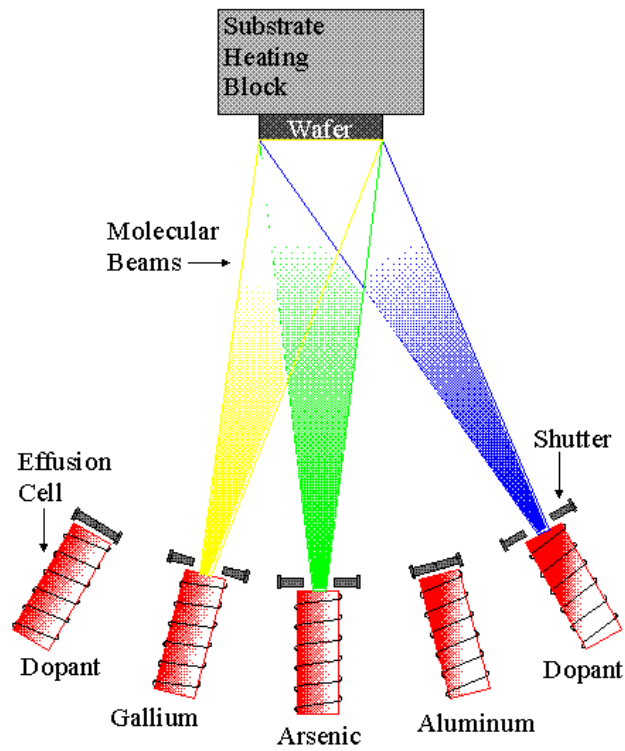
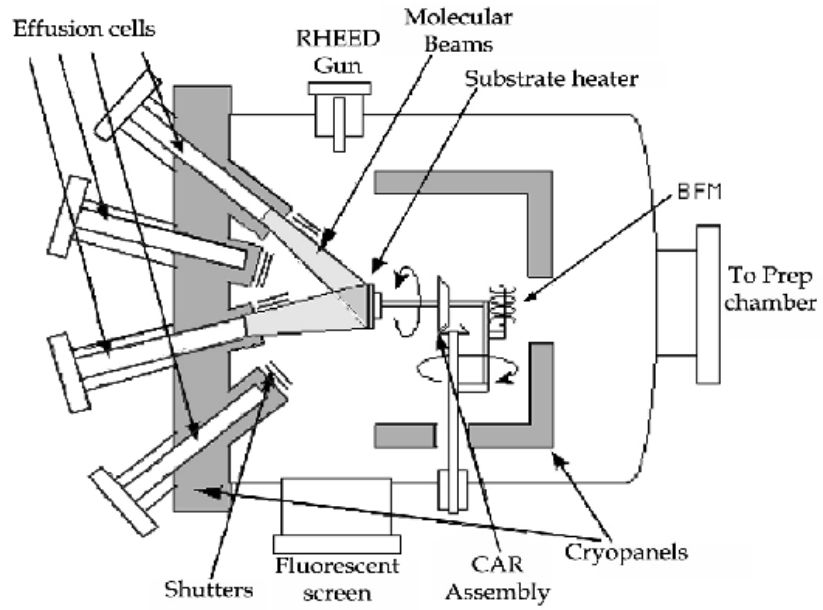
Αρκετά φυσικά φαινόμενα μπορούν να μεταβάλλουν τη δομή των ζωνών.

Από το 1970 υπήρξε εντυπωσιακή πρόοδος στις τεχνικές επιταξιακής ανάπτυξης.

Ενώ οι προηγούμενες μέθοδοι ανέπτυσαν υψηλής ποιότητας μονοκρυστάλλους, ήταν δύσκολο γι' αυτές τις τεχνικές να αλλάζουν απότομα τους ημιαγωγούς κατά την διάρκεια της ανάπτυξης.

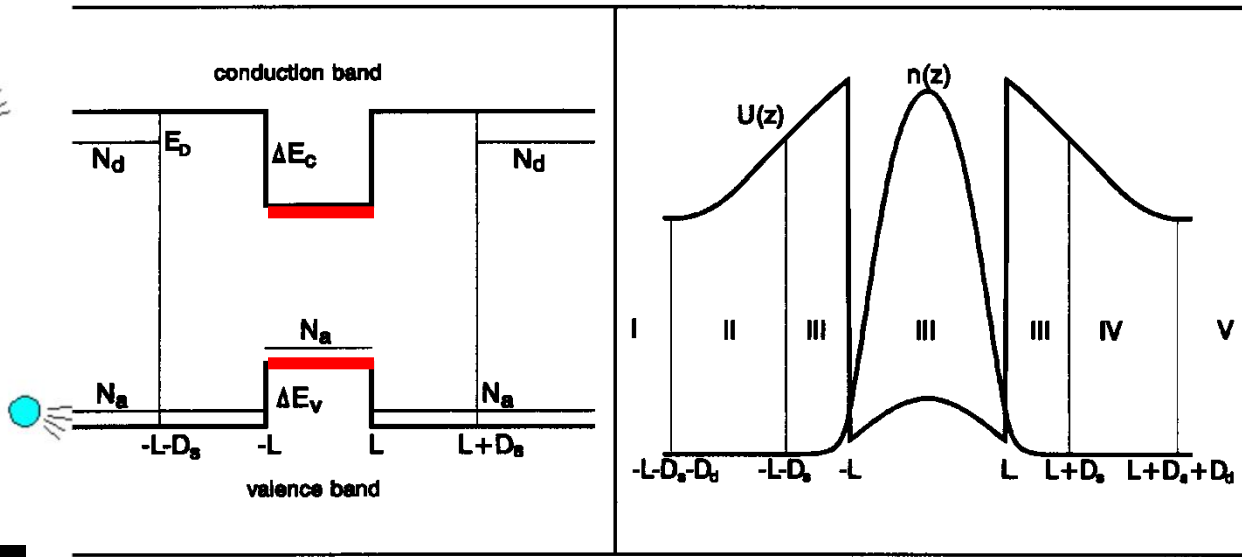
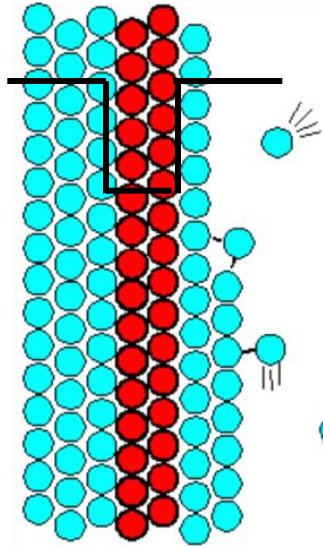
Επιταξιακές τεχνικές όπως η **MBE** και **MOCVD** ήταν ικανές να παράγουν αυτή την απότομη αλλαγή στην ανάπτυξη δύο ημιαγωγών που πλησίαζε το μονοατομικό στρώμα ($\sim 3 \text{ \AA}$).



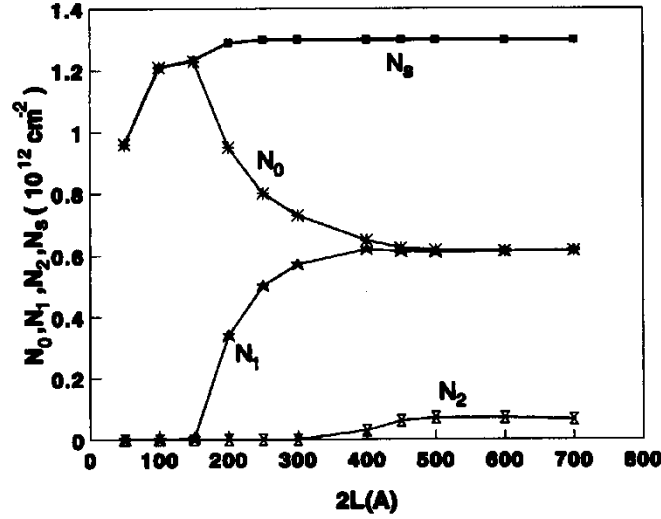


AlGaAs GaAs AlGaAs

AlGaAs / GaAs / AlGaAs



$Z \rightarrow$



Εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας στην Ηλεκτρονική

Ηλεκτρονικά και Υπολογιστές

- Μικρότερα τρανζίστορ
- Μικρότερη μνήμη
- Μικρότερα κυκλώματα

- Το ανθρώπινο μυαλό έχει γύρω στα 100 δισεκατομμύρια νευρώνες.
- Κάθε νευρώνας έχει χιλιάδες συνάψεις.
- Οι νεώτεροι επεξεργαστές έχουν μόνο δύο δισεκατομμύρια τρανζίστορες.

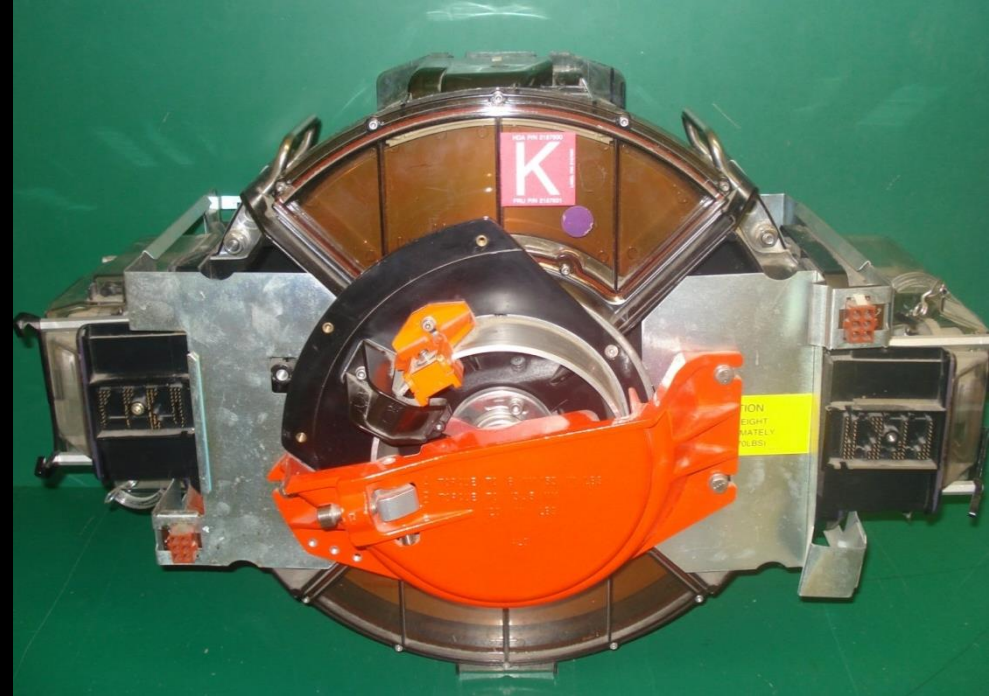
Νανοτεχνολογία στη μνήμη και αποθήκευση

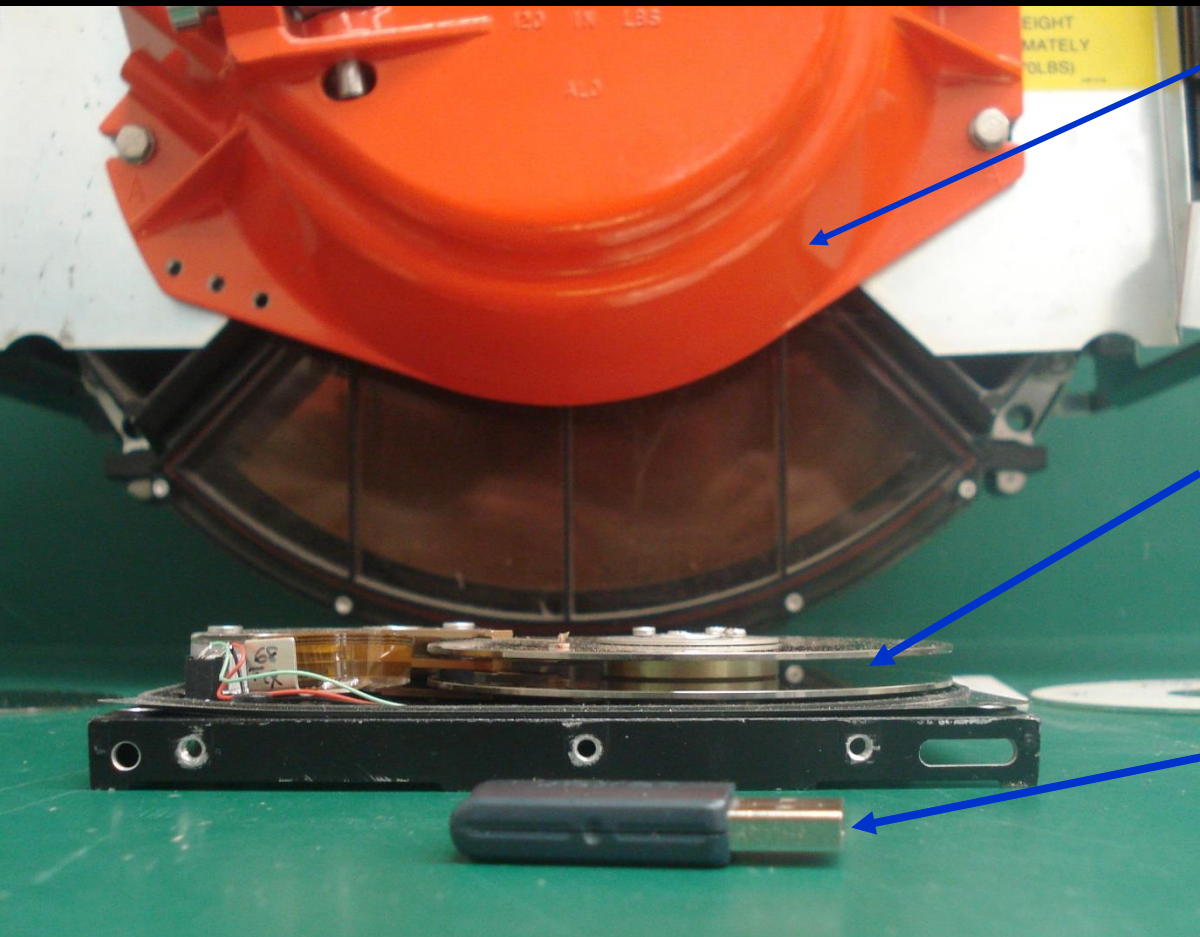
Αυτός είναι ένας σκληρός δίσκος

2 gigabyte. Ζυγίζει 35 kg .

Χρησιμοποιήθηκε το 1980 και

κόστιζε \$80.000 - \$140.000.





**2 GB to 1980
\$80.000**

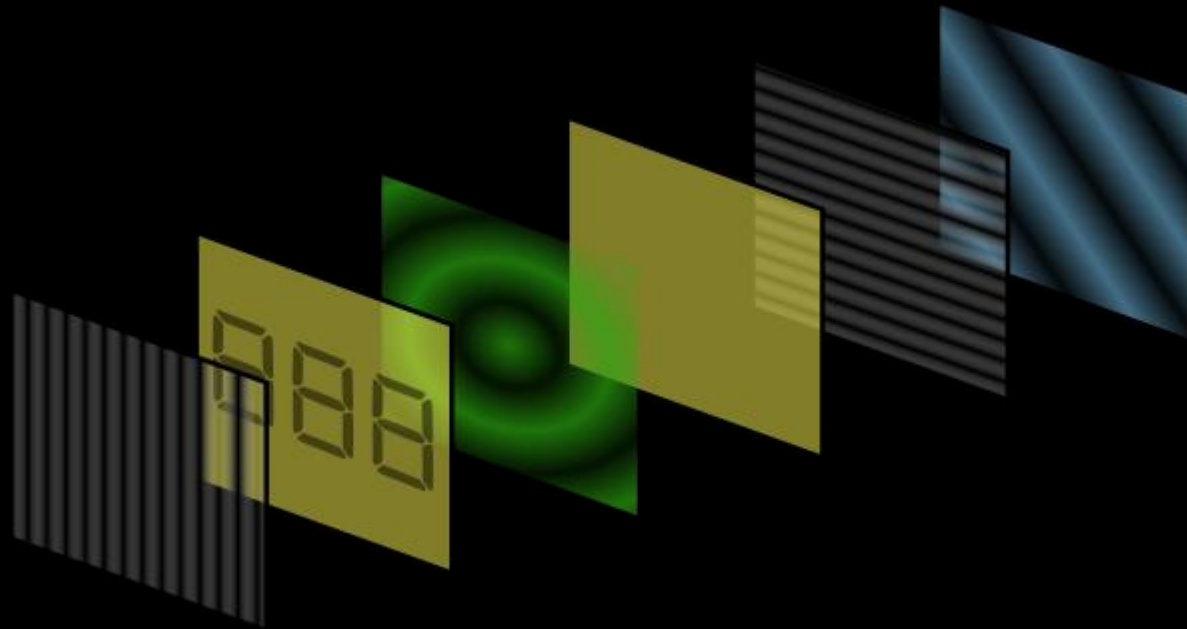
2 GB to 1990 \$200

2 GB to 2010 \$5



Χρησιμοποιώντας
την νανοτεχνολογία
σήμερα,

1000 GB μνήμης θα
χωράνε στο κεφάλι
αυτής της
καρφίτσας.





ASIA
Brief

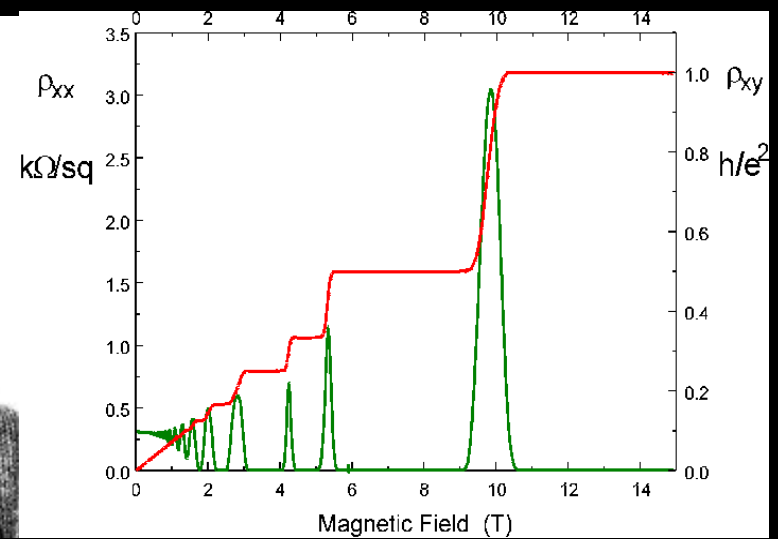
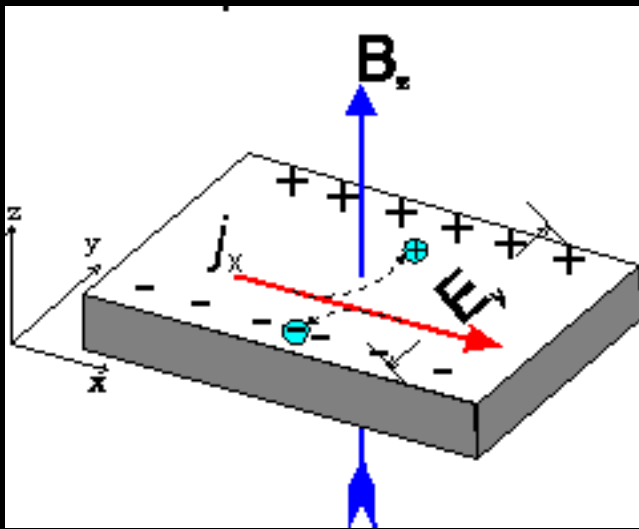


Το **1965** οι Φυσικοί της IBM πρωτοπαρατήρησαν **δυσδιάστατο ηλεκτρονικό αέριο στα MOSFETs**. Το δυσδιάστατο του χαρακτήρα των ηλεκτρονίων απετέλεσε ένα σημαντικότερο χαρακτηριστικό για την βελτίωση των διατάξεων. Εξ ίσου σημαντική ήταν και η δυνατότητα να μεταβάλλουμε την συγκέντρωση των φορέων. Αυτό μας έδωσε την δυνατότητα να μελετάμε ιδιότητες όπως η ευκινησία, οι αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίου-ηλεκτρονίου, ο εντοπισμός σε μία ευρεία κλίμακα στο ίδιο δείγμα.

Οι έρευνες στις ιδιότητες μεταφοράς των MOSFETs έφθασαν την κορυφή με την ανακάλυψη του **Κβαντικού Φαινομένου Hall (K. Von Klitzing, G. Dorda, M. Pepper, Phys. Rev. Lett. 45, 494 (1980))**.

The Nobel Prize in Physics 1985

"for the discovery of the quantized Hall effect"



Σήμερα αναπτύσσεται ιδιαίτερα η μελέτη και οι εφαρμογές των επιλεκτικά εμπλουτισμένων δομών (modulation-doped structures) που δημιουργούνται από ετεροδομές GaAs-AlGaAs. Τρία χαρακτηριστικά του GaAs, η μεγαλύτερη τελειότητα, η μικρότερη interface roughness (ενδοεπιφανειακή τραχύτητα), η μικρότερη ηλεκτρονιακή μάζα, έχει σαν αποτέλεσμα ηλεκτρονικές ευκινησίες μεγαλύτερες κατά δύο τάξεις μεγέθους από αυτές το Si.

Η τεχνολογία του GaAs μας οδήγησε στην ανακάλυψη του Κλασματικού Κβαντικού φαινομένου Hall (D.C. Tsui et al Phys. Rev. Lett. 48, 1559 (1982)) και στη δημιουργία των quantum well lasers.

The Nobel Prize in Physics 1998

“ for their discovery of a new form of quantum fluid with fractionally charged excitations”



Laughlin



Störmer



Laughlin

The Nobel Prize in Physics 2000

"for basic work on information and communication technology"

"for developing semiconductor heterostructures used in high-speed- and opto-electronics"

"for his part in the invention of the integrated circuit"



Zhores I. Alferov

A.F. Ioffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russia



Herbert Kroemer

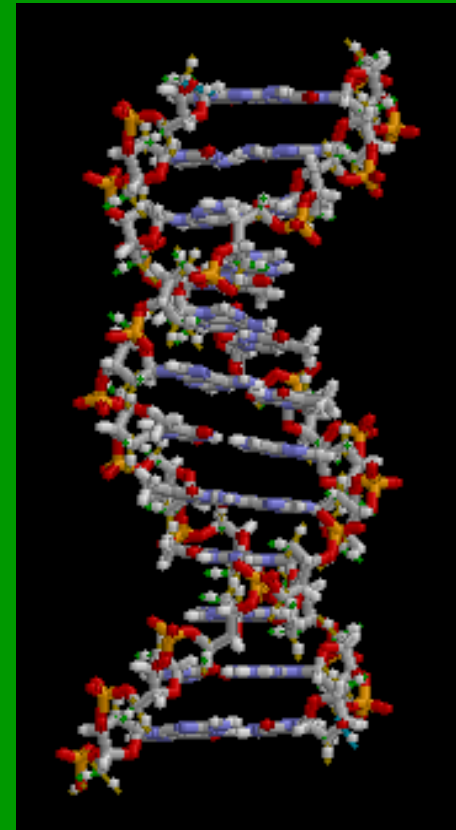
University of California
Santa Barbara, CA, USA



Jack S. Kilby

Texas Instruments
Dallas, TX, USA

Επιστροφή . . . στη Φύση. . .!!!



Σήμερα μία τεράστια ερευνητική δραστηριότητα έχει αναπτυχθεί στην μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων βιολογικών υλικών με κυρίαρχες αυτές του **DNA**

The Role of Charge and Spin Migration in DNA Radiation Damage

Tight-Binding Modeling of Charge Migration in DNA Devices

Hole Injection and Hole Transfer Through DNA: The Hopping Mechanism

Engineering a Molecular Railroad

Biomolecular Automata

DNA-Based Nanoelectronics

Macromolecular Crowding and DNA condensation

T. Chakraborty
Editor

NANOSCIENCE AND TECHNOLOGY

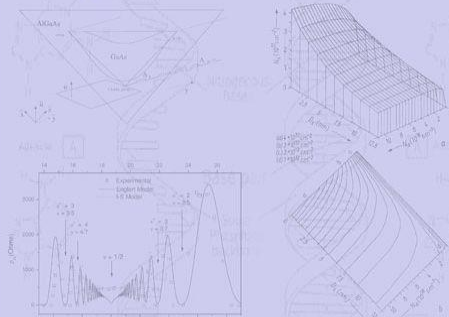
Charge Migration in DNA

Perspectives from
Physics, Chemistry,
and Biology

 Springer

THE PHYSICS OF LOW-DIMENSIONAL STRUCTURES

From Quantum Wells to DNA and Artificial Atoms



Georgios P. Triberis

NOVA

Quantum Computing

Neural Networks

Evolutionary Computing

DNA Computing

Junghuei Chen · Nataša Jonoska
Grzegorz Rozenberg (Eds.)

Nanotechnology: Science and Computation

NATURAL COMPUTING SERIES

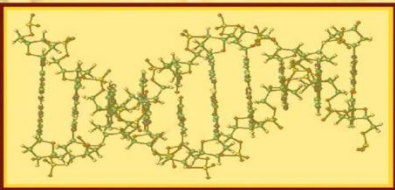
 Springer

GENETIC PROGRAMMING AND EVOLVABLE MACHINES


Edited by Junghuei Chen
Nataša Jonoska
Grzegorz Rozenberg

NanoBioTechnology

*BioInspired Devices
and Materials of the Future*



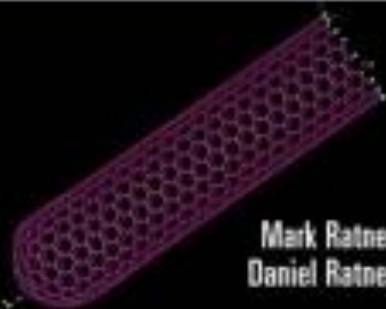
Edited by
Oded Shoseyov
Ilan Levy

 HUMANA PRESS

"Nano scale science and engineering most likely will produce the strategic technology breakthroughs of tomorrow. The ability to work at the molecular level, and to work, to create something new, something we can manufacture from the bottom up, opens huge vistas for many of us."
—David Sinton, Senior VP of Engineering and Technology, Boeing

Nanotechnology

A GENTLE INTRODUCTION TO THE
NEXT BIG IDEA

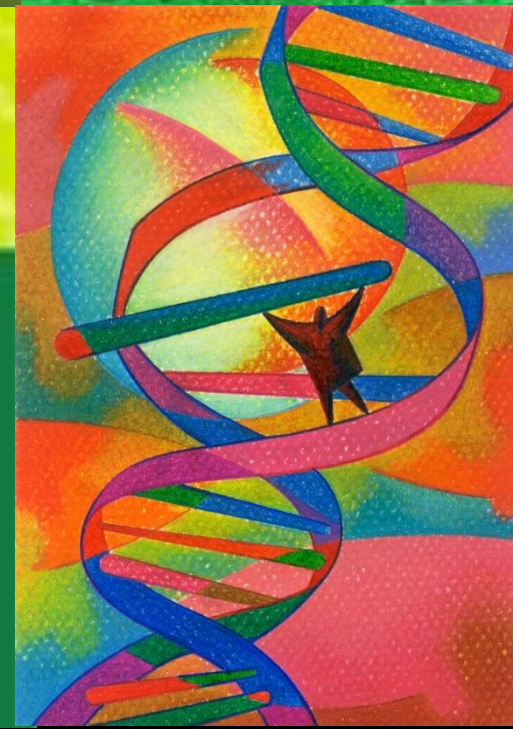


Mark Ratner
Daniel Ratner

TOPICS IN CURRENT CHEMISTRY

Long-Range Charge
transfer in DNA I

 Springer



• **restriction enzymes**: κόβουν το DNA σε καθορισμένες θέσεις

• **ligases**: ενώνουν δύο τμήματα του DNA

topoisomerases: αλλάζουν τοπολογία

Η 'εργαλειοθήκη'
του DNA

DNA/RNA polymerases κάνουν αντίγραφα

DNA binding proteins : βοηθούν στην ανασύνθεση



**Σημαντικά χαρακτηριστικά του DNA
για την χρησιμοποίησή του στη
νανο-επιστήμη**

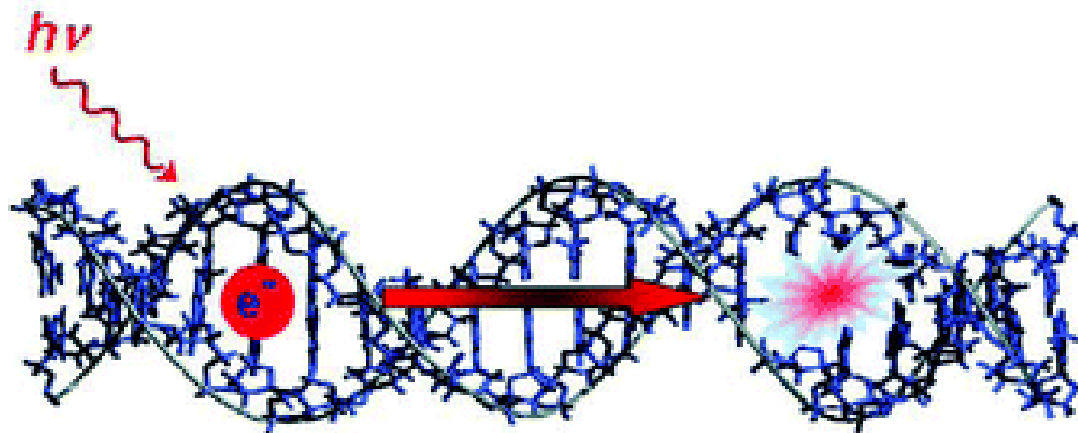


- προγραμματιζόμενη αυτό-οργάνωση
- αυτοματοποιημένη σύνθεση του DNA
- δομικά σταθερή διπλή έλικα σε διαστάσεις νανο-κλίμακας
- διαθέσιμα ένζυμα ικανά να τροποποιήσουν το DNA
- PCR (polymerase chain reaction), κλωνοποίηση
- νανοκάψουλες για απομάκρυνση ουσιών
- μοριακές μηχανές

Ένα παράδειγμα

.....θεωρητικής διερεύνησης

*Μεταφορά φορτίου
κατά μήκος μορίων DNA*



1962:

“...DNA may act as a molecular wire providing a one-dimensional pathway for migration of electrical charge.”

D.D. Eley and D.I. Spivey, Trans. Faraday Soc. 58, 411

Η μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου από μία βάση σε μία άλλη μπορεί να προκαλέσει τοπικά βλάβες στο DNA γεγονός που παίζει σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες γήρανσης, καρκινογένεσης και μετάλλαξης.

Η γνώση του είδους των φορέων και του μηχανισμού μεταφοράς φορτίου στο DNA είναι σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη ηλεκτρονικών νανοδιατάξεων βασισμένων στο DNA.

Το DNA ως αγωγός, ημιαγωγός, μονωτής ή και υπεραγωγός !!

Πείραμα 1: λ-phage DNA
Tran et al, Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 1564

→ σε Υψηλές T (227-342K) [$\sim 115\text{K}$]
 και Χαμηλές T (77-227K)

$$\sigma = \sigma(T)$$

Ερμηνεία :

Χαμηλές-T

Ιοντική αγωγιμότητα
 (κατιόντα)

αλλά

δεν μπορεί να εξηγήσει τη
 θερμοκρασιακή εξάρτηση
 στις Υψηλές T

Υψηλές T

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta/2KT)$$

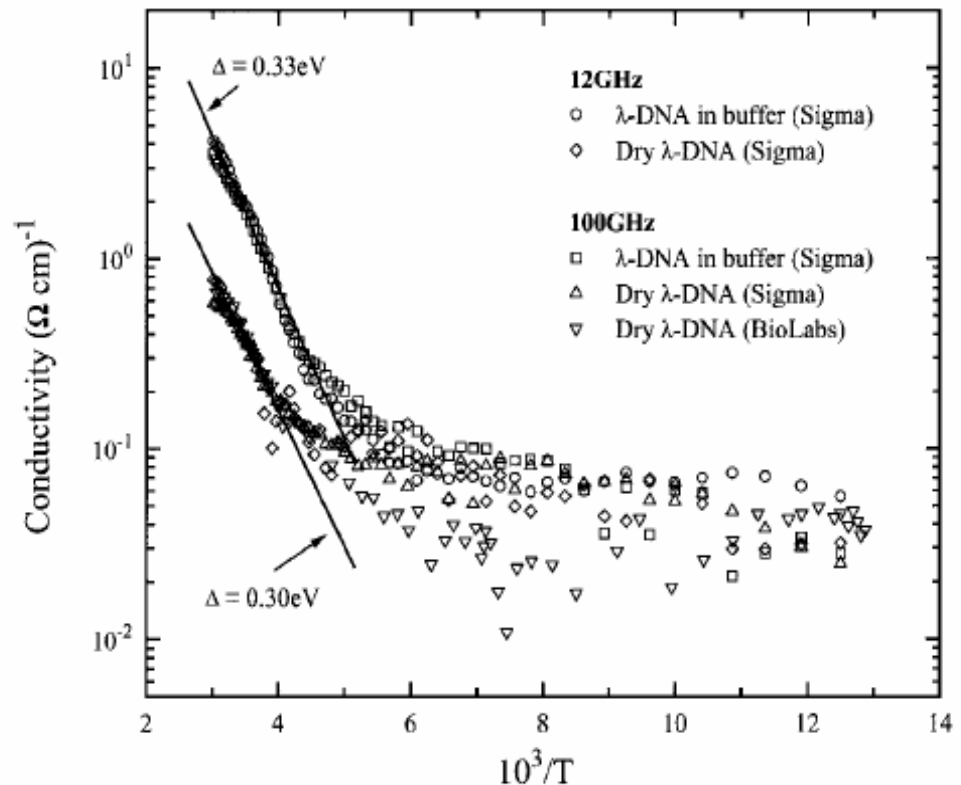
Διέγερση φορέων μεταξύ
 μονοσωματιδιακών
 ενεργειακών χασμάτων

ή

Θερμικά διεγειρόμενη
 διαδικασία hopping

ή

Φωνονικά διεγειρόμενο
 hopping πολαρονίων



Πείραμα 2: poly(dA)-poly(dT),
poly(dG)-poly(dC)
Yoo *et al*, Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 198102



$I-V(T)$ i.e. $G = G(T)$
σε Υψηλές T (175-306K)
[~131K]
και Χαμηλές T (18-175K)

Ερμηνεία : Μοντέλο hopping
μικρών πολαρονίων
απουσία αταξίας

$$I \sim b V$$

fitting parameter b

(ασαφούς φυσικής προέλευσης)

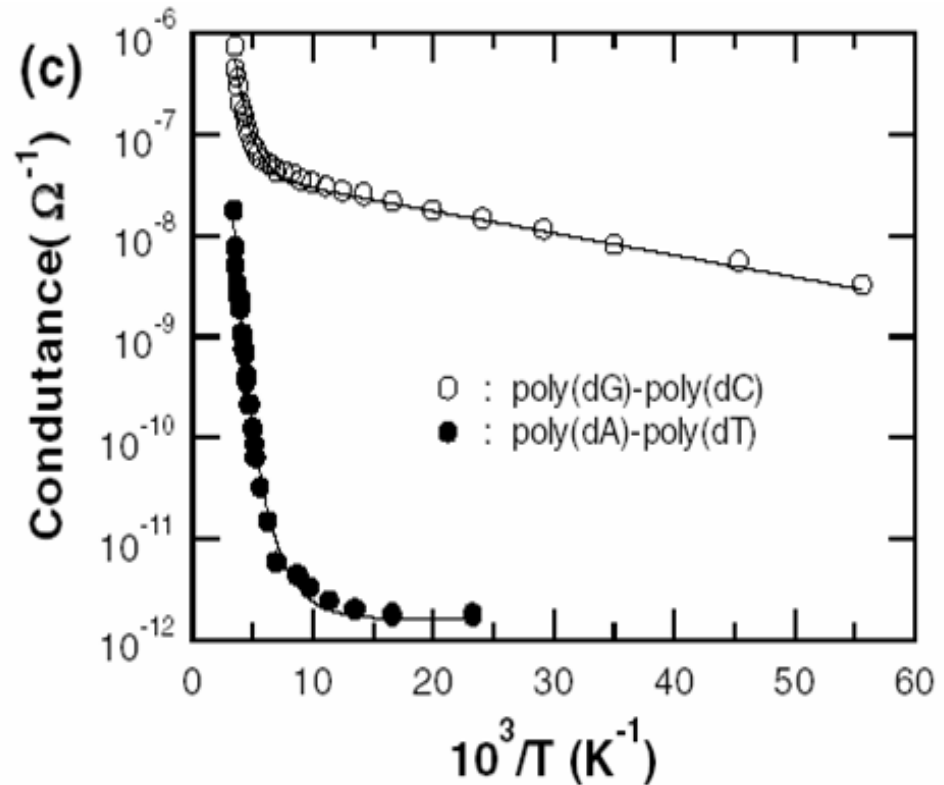
Μήκος
Αλμάτων

: poly(dA)-poly(dT)
~ 16.8 Å (5 ζεύγη βάσεων)

poly(dG)-poly(dC)
~ 25 Å (7 ζεύγη βάσεων!!)

Αλλά ανεπιτυχής προσπάθεια
ερμηνείας των αποτελεσμάτων
των Tran *et al*

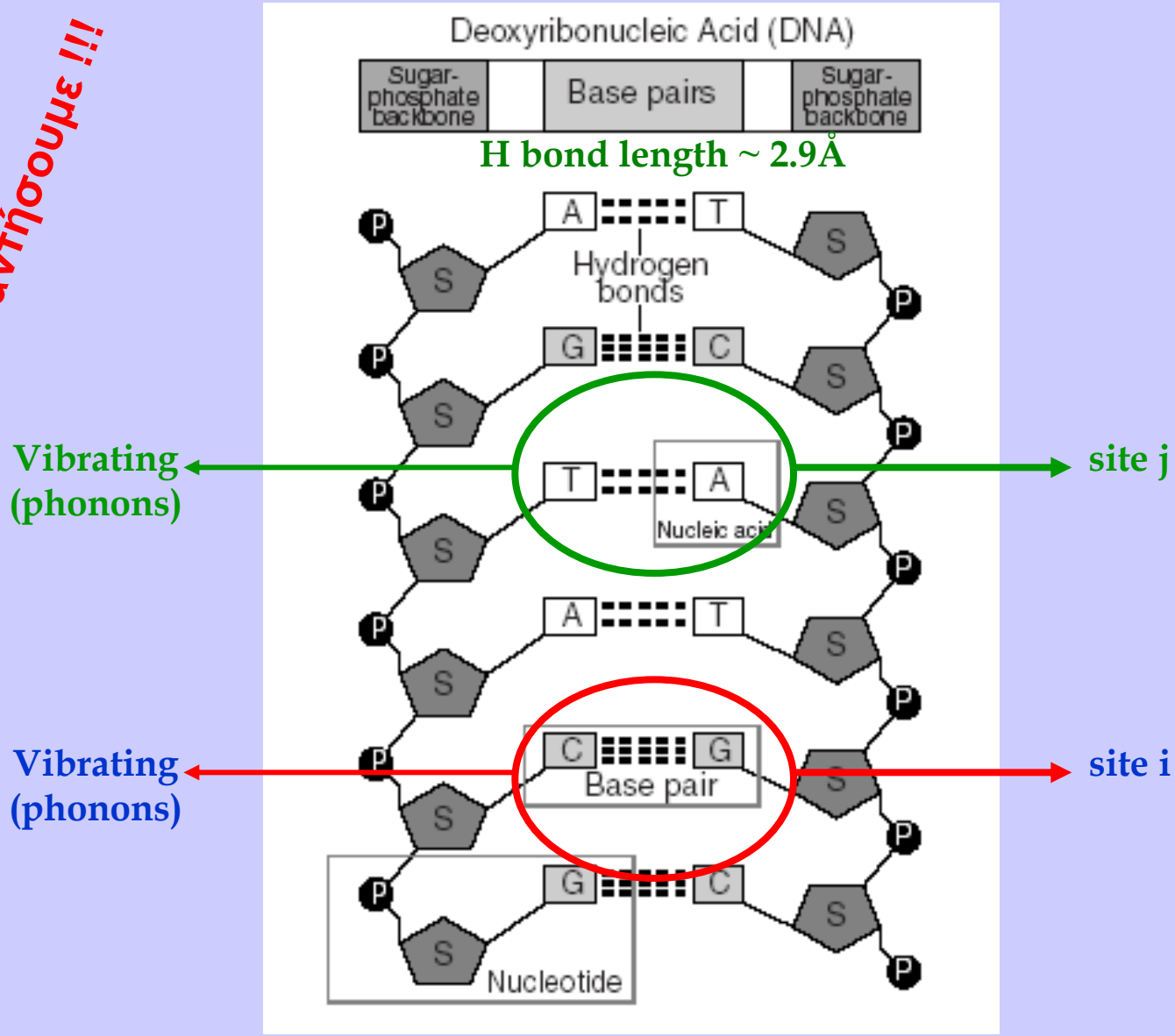
⇒ Άλλοι πιθανοί μηχανισμοί



(1) DNA : Μοριακό σύρμα (quasi-1D σύστημα).

Κάθε ζευγάρι βάσεων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ταλαντούμενο μοριακό πλεγματικό σημείο.

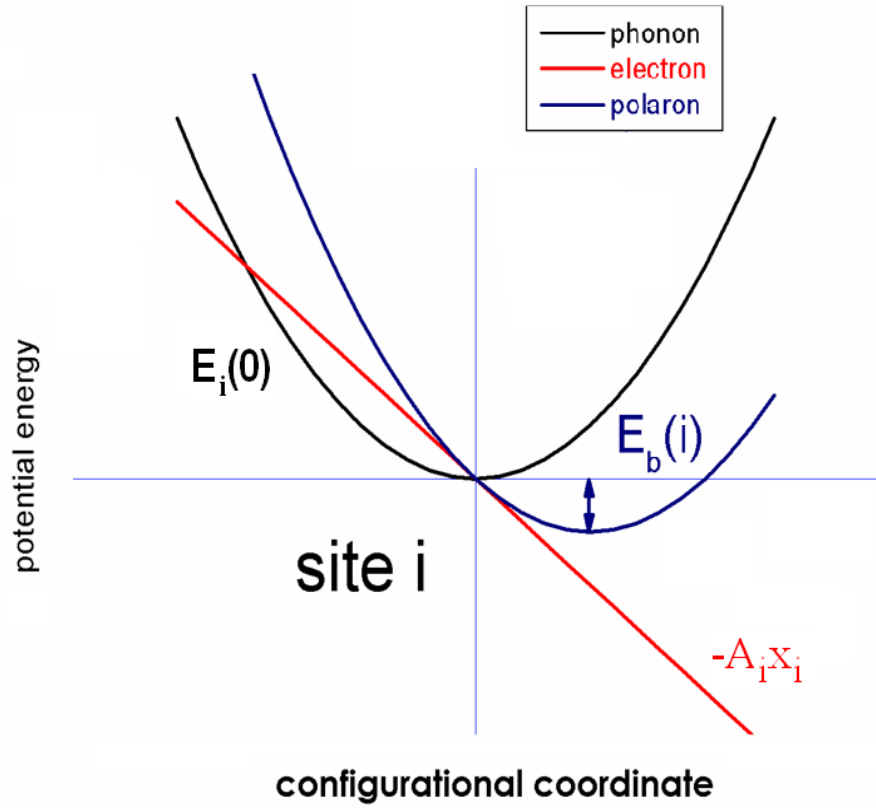
Μπορούμε να απαντήσουμε !!!



(3) Φορείς

Πολαρόνια

- 1. Φωνόνια (ταλάντωση μοριακών "site")
- 2. Ηλεκτρόνιο (γραμμική αλληλεπίδραση e-ph)
- 3. Δημιουργία πολαρονίου ($E_b(i)$) **



M.C.M. (Molecular Crystal Model) \longrightarrow 3D ordered : $A_i = A_j$

T. Holstein, *Ann. Phys. NY* **8** (1959) 343

G.M.C.M. (Generalized Molecular Crystal Model) \longrightarrow 3D disordered : $A_i \neq A_j$

G. P. Triberis and L. R. Friedman, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **14** (1981) 4631

\longrightarrow Υψηλές T

G. P. Triberis, *J. Non-Cryst. Solids* **74** (1985) 1

\longrightarrow Χαμηλές T

** S. Alexandre et al, *PRL* **91** (2003) 108105 , E. M. Conwell and S M Bloch, *J. Phys. Chem. B* **110** (2006) 5801

Αποτελέσματα και Σχόλια

Υψηλές T

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[- \left(\frac{\tilde{T}_0}{T} \right)^{2/3} \right]$$

$$R_{\max} = \frac{(\tilde{T}_0)^{2/3}}{2\alpha} T^{-2/3}$$

όπου $\tilde{T}_0 = \frac{27^{1/2} N_s^{1/2} a^{1/2}}{N_0 k_B}$

και

$$\tilde{T}'_0 = \frac{4\alpha}{N_0 k_B}$$

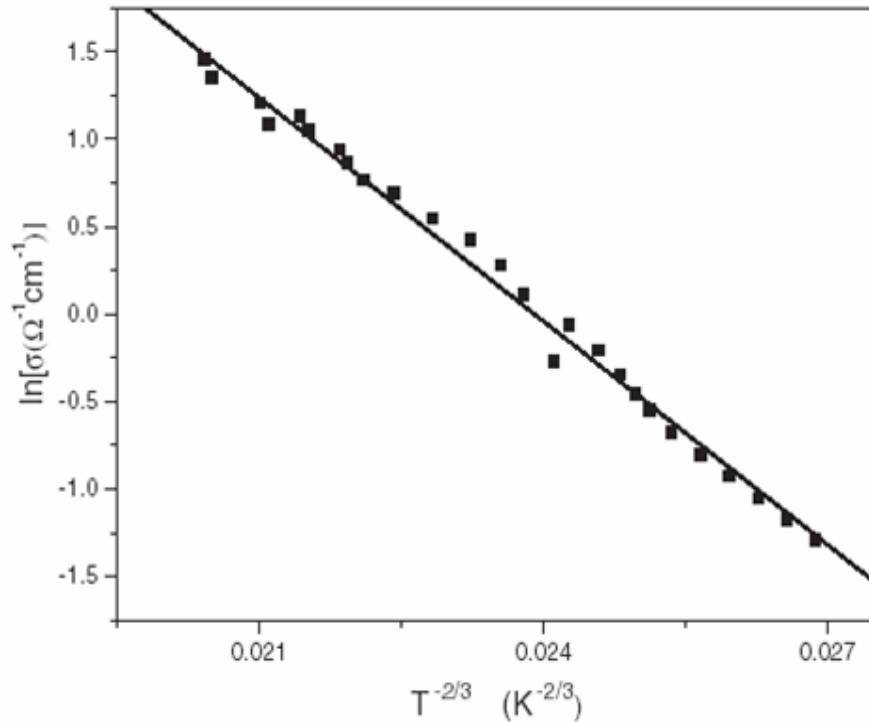
Χαμηλές T

$$\sigma = \sigma'_0 \exp \left[- \left(\frac{\tilde{T}'_0}{T} \right)^{1/2} \right]$$

$$R_{\max} = \frac{(\tilde{T}'_0)^{1/2}}{2\alpha} T^{-1/2}$$

Υψηλές T – απουσία συσχετισμών

Tran et al

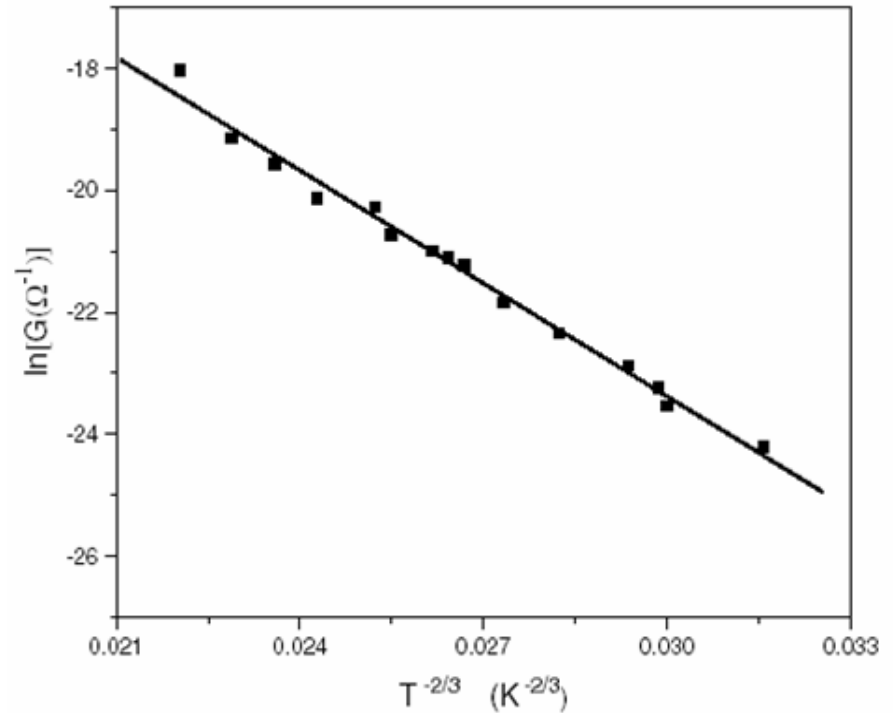


$$T_0 = 8.79 \times 10^3 \text{ K}$$

$$R_{\max}(227 \text{ K}) = 11.4 \overset{\circ}{\text{A}} \text{ (~3 ζευγ. βάσεων)}$$

$$R_{\max}(342 \text{ K}) = 8.47 \overset{\circ}{\text{A}} \text{ (~2 ζευγ. βάσεων)}$$

Yoo et al



$$T_0 = 1.45 \times 10^4 \text{ K}$$

$$R_{\max}(178 \text{ K}) = 18.8 \overset{\circ}{\text{A}} \text{ (~5 ζευγ. βάσεων)}$$

$$R_{\max}(306 \text{ K}) = 13 \overset{\circ}{\text{A}} \text{ (~4 ζευγ. βάσεων)}$$

Μελετώντας τις ιδιότητες των υλικών

Δομικές Ιδιότητες

Στατικές Μηχανικές Ιδιότητες

Δυναμικές Ιδιότητες

Θερμικές, Ακουστικές, Οπτικές
Ιδιότητες

Ηλεκτρονική Δομή
Θεωρία Ζωνών

Μονωτές
Ημιαγωγοί
Μέταλλα

Ηλεκτρικές και
Διηλεκτρικές
Ιδιότητες των Μονωτών

Ηλεκτρικές και Μαγνητικές
Ιδιότητες των Μετάλλων

Φαινόμενα Μεταφοράς
Οπτικές Μεταβάσεις

Μη-Κρυσταλλικά Υλικά
Νέα Υλικά



Η μελέτη μας στοχεύει στην αποκάλυψη των
ιδιοτήτων των υπό μελέτη υλικών πειραματικά
και στην θεωρητική ερμηνεία των πειραματικών
αποτελεσμάτων.

Α. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΜΕΣΑ

Είναι ένα ενδιαφέρον πρόβλημα το πώς θα εξετάσουμε το εσωτερικό του στερεού.

Οπωσδήποτε, δεν μπορούμε να κόψουμε τον κρύσταλλο στη μέση ή να ανοίξουμε μία τρύπα σ' αυτόν, γιατί τότε θα ξαναβρεθούμε στην επιφάνεια.

Θα αναφερθούμε σε ορισμένες σημαντικές πειραματικές μεθόδους που διαθέτουμε για τη μελέτη της στερεάς κατάστασης.

(1) Μικροσκοπία

(2) Γωνιομετρία και Περίθλαση

(3) Φασματοσκοπία

(4) Βομβαρδισμός

(5) Στατικές Φυσικές Μετρήσεις

(7) Χημικές Αντιδράσεις και Διάχυση

(8) Συνδυασμοί και Ειδικές Τεχνικές

Προκειμένου να δημιουργήσουμε μια θεωρία που θα ερμηνεύει τα φυσικά φαινόμενα, που παρατηρούνται στα στερεά, αναπτύσσουμε μοντέλα τα οποία προσαρμόζονται και επιχειρούν να ερμηνεύσουν τα πειραματικά δεδομένα.

Η ανάπτυξη αυτών των μοντέλων αρχίζει με την **Μελέτη της Δομής των Στερεών, ως απλή μηχανική απεικόνιση του στερεού**. Έτσι, αρχικά ενδιαφερθήκαμε για τον καθορισμό των ιδιοτήτων ενός στερεού, το οποίο θεωρήσαμε ως μία περιοδική διάταξη σταθερών σημείων. Θεωρώντας, ότι δεν υπάρχει κίνηση στο στερεό, ασχολούμαστε κυρίως με τις γεωμετρικές του ιδιότητες.

Στη συνέχεια, **επεκτείνουμε το γεωμετρικό κρυσταλλικό μοντέλο μας σε μία διάταξη πραγματικών ατόμων με καθορισμένες μάζες που μπορούν να κινούνται.**

Οι ακλόνητες συνδέσεις των σημειακών μαζών του προηγούμενου μοντέλου μας αντικαθίστανται με ελατήρια, έτσι ώστε **οι μάζες να μπορούν να ταλαντώνονται.**

Με άλλα λόγια, παριστάνουμε τον κρύσταλλο ως ένα πλέγμα από μάζες που συγκρατούνται μεταξύ τους με κάποιο είδος ελκτικών δυνάμεων, και θέλουμε να βρούμε τις ιδιότητες του συστήματος αυτού. Εδώ, πρώτος μας σκοπός είναι να καταλάβουμε τις **Δυνάμεις Δεσμού** και τις **Στατικές Μηχανικές Ιδιότητες.**

Αν λάβουμε υπόψη τις στατικές παραμορφώσεις αυτής της διάταξης, μπορούμε να βρούμε **τις ελαστικές σταθερές του κρυστάλλου, το μέτρο του Young, το μέτρο ολίσθησης και τη συμπιεστότητα.**

Το δεύτερο πρόβλημα είναι να καθορίσουμε τις **Δυναμικές Ιδιότητες** του κρυστάλλου. Αυτή η μελέτη μας οδηγεί στην εξακρίβωση των κανονικών τρόπων της δόνησης ενός συστήματος αρμονικών ταλαντωτών, με τους οποίους παριστάνουμε τα πλεγματικά μας σημεία. Η ταλάντωση των ατόμων μπορεί να προκαλείται από εξωτερικά αίτια, όπως θερμότητα, ήχο ή φως. Έτσι μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες σχετικά με **Θερμικές, τις Ακουστικές και τις Οπτικές Ιδιότητες των Στερεών.**

Ως τώρα χρησιμοποιήσαμε ως μοντέλο μας έναν κρύσταλλο που αποτελείται από ένα πλέγμα από άτομα, τα οποία ταλαντώνονται μηχανικά. Δεν λάβαμε υπόψη μας τη δομή των ατόμων (εκτός από την μελέτη των δεσμών στον κρύσταλλο-Νόμος του Hook), αλλά για τη μελέτη των διαφόρων προβλημάτων χρησιμοποιήσαμε μόνο τις μάζες και τις ακτίνες τους.

Όμως, τα άτομα αποτελούνται από θετικά φορτισμένους πυρήνες, που περιβάλλονται από αρνητικά φορτία.

Έτσι, τώρα μπορούμε να αναπτύξουμε ένα μοντέλο για το στερεό, στο οποίο **ηλεκτρικά φορτία και ηλεκτρικές διπολικές ροπές συνδέονται με τα πλεγματικά σημεία**, όπου τα ηλεκτρόνια είναι δέσμια στα άτομα (μονωτές), και να μελετήσουμε τις **Ηλεκτρικές και Διηλεκτρικές Ιδιότητες των Μονωτών** (αμετάλλων).

Μπορούμε να ερευνήσουμε την προέλευση της **διηλεκτρικής σταθεράς** σε ένα μεγάλο αριθμό υλικών ή τα **φαινόμενα ηλεκτροσυστολής, πιεζοηλεκτρισμού και σιδηροηλεκτρισμού.**

Τώρα, μπορούμε να αξιοποιήσουμε το γεγονός ότι **τα ηλεκτρόνια έχουν μία ενδογενή μαγνητική ροπή**, συνδεδεμένη με τη στροφορμή του spin, και μία **τροχιακή μαγνητική ροπή**, συνδεδεμένη με τη τροχιακή στροφορμή. Επίσης γνωρίζουμε, ότι ο πυρήνας έχει μία **μαγνητική ροπή και μία στροφορμή.**

Με βάση αυτά τα στοιχεία προσπαθούμε να εξηγήσουμε μακροσκοπικά φαινόμενα, όπως **ο διαμαγνητισμός και ο παραμαγνητισμός.**

Τώρα, **προκειμένου για μέταλλα**, όπου τα ηλεκτρόνια δεν είναι δέσμια στα άτομα, αλλά κινούνται σχεδόν ελεύθερα μέσα στον κρύσταλλο, αγνοούμε το πλέγμα, και έχουμε να μελετήσουμε το σύστημά μας σαν είναι **σύστημα ενός αερίου ηλεκτρονίων μέσα σ' ένα κουτί**.

Αυτό επιβάλλει τη χρήση εννοιών της Κβαντικής Μηχανικής και της Κβαντικής Στατιστικής. Έτσι μπορούμε να μελετήσουμε **τις Ηλεκτρικές και τις Μαγνητικές Ιδιότητες των Μετάλλων**.

Κανένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιήσαμε ως τώρα δεν μας δίνει μία εξήγηση στο

“γιατί μερικά στερεά είναι μονωτές και άλλοι ημιαγωγοί ή μέταλλα”.

απάντηση στο ερώτημα αυτό, καθώς και πληροφορίες για την συμπεριφορά των ημιαγωγών, μας τη δίνει η **Θεωρία των Ζωνών**.

Τέλος, μπορούμε να μελετήσουμε τις **Ατέλειες των Κρυστάλλων**, όπως προσμίξεις, κενές θέσεις ατόμων, εξαρθρώσεις, κ.λπ. από τη πυκνότητα και τη φύση των οποίων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό οι ιδιότητες των στερεών, όπως **η αγωγιμότητα, η μηχανική αντοχή κ.λπ.**

Η Σπουδαιότητα της Φ.Σ.Κ

Η Φυσικής της Στερεάς Κατάστασης (Φ.Σ.Κ.) διαφέρει βασικά από άλλους τομείς της Φυσικής, όπως η Κλασική Μηχανική, η Κβαντομηχανική, η Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία, η Θεωρία της Σχετικότητας και η Στατιστική Φυσική, όπου η έμφαση δίνεται στην ανάπτυξη ορισμένων εννοιών (π.χ. μάζα, επιτάχυνση, ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο κ.λπ.). Αυτές οι έννοιες επιτρέπουν την περιγραφή ενός μεγάλου κύκλου φαινομένων με ένα μικρό αριθμό θεμελιωδών εξισώσεων (π.χ. εξίσωση του Νεύτωνα, στην Κλασική Μηχανική, εξισώσεις του Maxwell, στον Ηλεκτρομαγνητισμό κ.λπ.).

Συγκεκριμένα παραδείγματα εξετάζονται κυρίως για να δείξουν την εφαρμογή των γενικών εξισώσεων.

Αντίθετα, τομείς όπως η Φ.Σ.Κ., η Ατομική Φυσική κ.λπ, ξεκινούν από εκεί, όπου οι βασικοί τομείς σταματούν. Φυσικά, υπάρχει πάντα ένας βαθμός επικάλυψης. Στη Φ.Σ.Κ. η έμφαση δίνεται στις εφαρμογές.

Οι βασικές εξισώσεις και μέθοδοι της Κλασικής και Κβαντικής Μηχανικής, της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας και της Στατιστικής Μηχανικής, αποτελούν το νοητικό πλαίσιο, πάνω στο οποίο θεμελιώνεται η Φ.Σ.Κ., της οποίας το αντικείμενο είναι η εφαρμογή των γενικών αρχών σε συγκεκριμένα προβλήματα. Δεν θα πρέπει, όμως, να συμπεραίνει κανείς ότι η Φ.Σ.Κ. είναι ένα σύνολο απλών εφαρμογών των γενικών νόμων της Φυσικής.

Η **δυσκολία** και εν μέρει **το ενδιαφέρον** της Φ.Σ.Κ. βρίσκεται στο γεγονός ότι τα προβλήματα της είναι τόσο **πολύπλοκα** και **πολύμορφα**, ώστε να χρειάζεται να αναπτυχθεί ένα πλήθος ειδικών μεθόδων, εννοιών και εξισώσεων, για αν γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ γενικών αρχών και συγκεκριμένων αποτελεσμάτων.

Το οικοδόμημα της Φυσικής περιλαμβάνει έννοιες, θεωρίες, νόμους καθώς επίσης και αρχές.



Αν αυτά δεν συνδέονται με νοητικές δραστηριότητες οι οποίες τα παράγουν ή τα θέτουν σε λειτουργία, τότε δεν αποτελούν παρά ένα σύνολο διατυπώσεων δηλ. γραπτά ίχνη ή φράσεις πάνω στον πίνακα ή σε ένα κομμάτι χαρτί.



Πράγμα που σημαίνει σε απλά Ελληνικά ότι:

- Αν όλα αυτά σας εντυπωσιάζουν,
- αν πιστεύετε ότι αντί να τα βλέπετε στην τηλεόραση, παθητικοί καταναλωτές, θέλετε να είσαστε **εσείς**
 - εκείνοι που τα σκέφτονται ,
 - εκείνοι που θα πάνε η γνώση μας ένα βήμα πιο μπροστά,
 - εκείνοι που θα συμβάλλουν στην επίλυση των προβλημάτων της κοινωνίας μας με τις επιστημονικές σας προτάσεις,

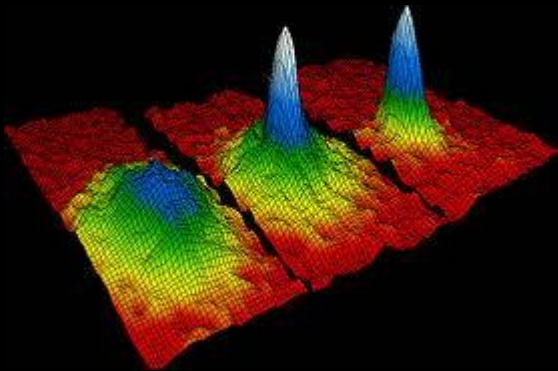
Τότε πρέπει να μελετήσετε σοβαρά και να είσαστε σίγουροι ότι οι κόποι σας θα πιάσουν τόπο.

Επίλογος



Προσπάθησα να σας ξεναγήσω στον

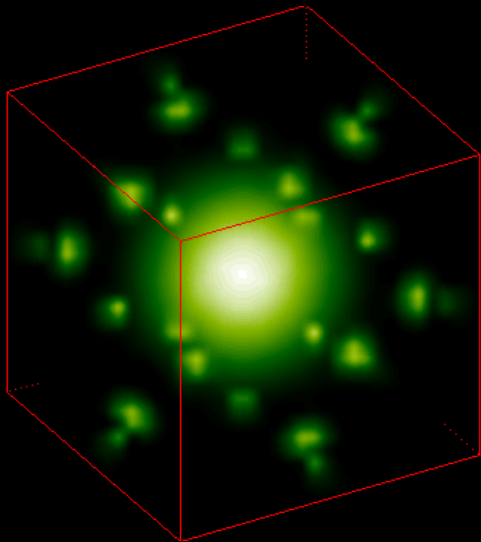
θαυμαστό κόσμο της Φυσικής της Συμπυκνωμένης Ύλης



Αν θελήσετε να εξερευνήσετε τον
κόσμο αυτόν ... σας εύχομαι ...

Καλή

διασκέδαση.....!!!



Ερωτήσεις- απορίες και ίσως συμβουλές

Γ. Π. Τριμπέρης

Κτήριο Φυσικής
Πανεπιστημιούπολη/ Ζωγράφου
2^{ος} όροφος



`gtriber@phys.uoa.gr`

`http://users.uoa.gr/~gtriber`

Σας ευχαριστώ !