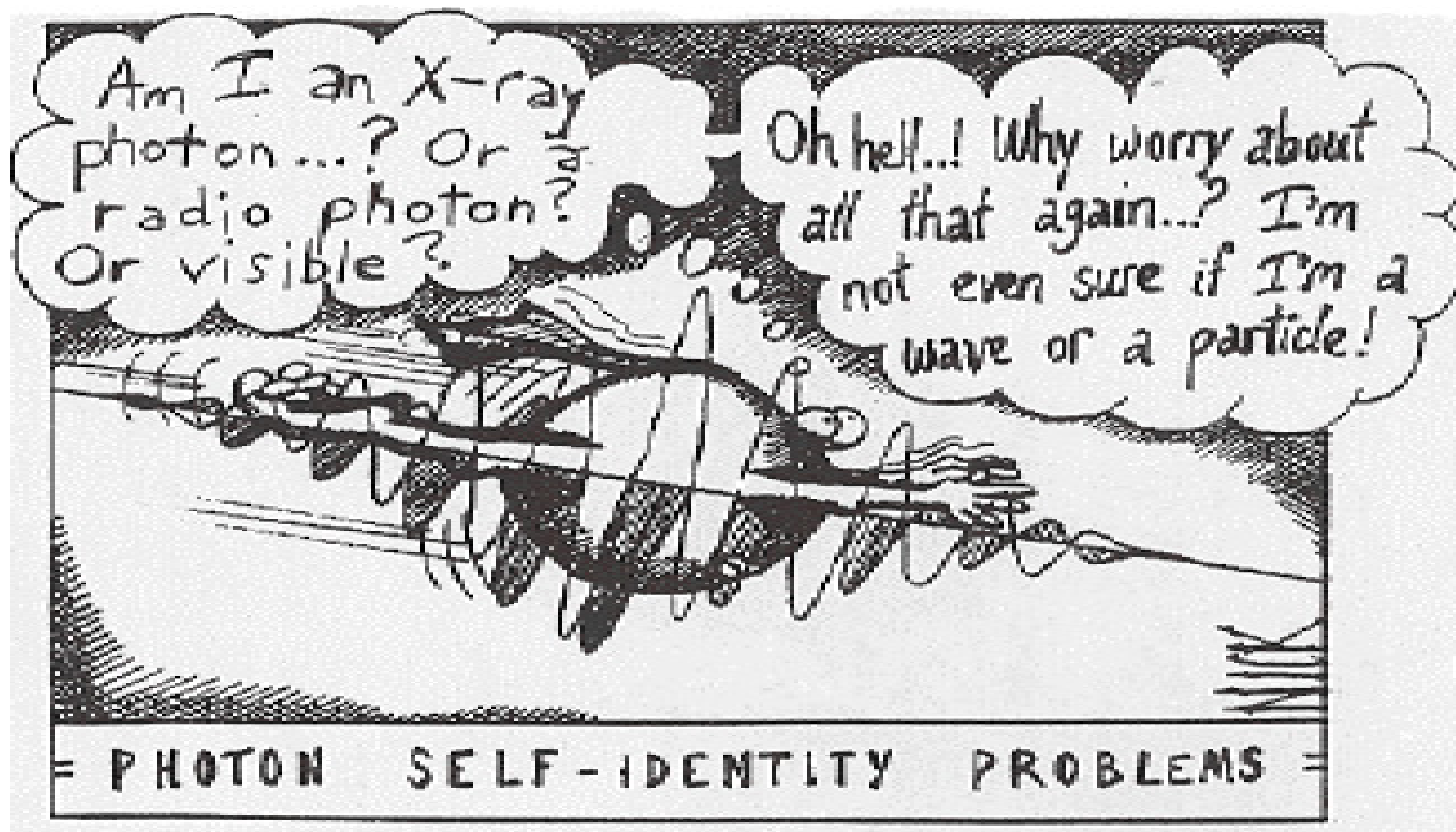
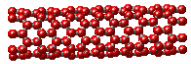


1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Φώς & Οπτική

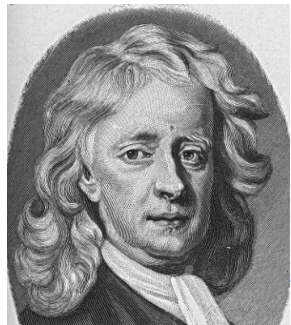
Τι είναι το φως ? Κύμα ή σωματίο ?





1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Φώς & Οπτική



Sir Isaac Newton

1704

Σωματίο γιατί

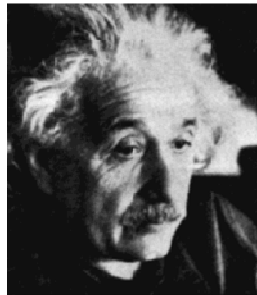
1. ταξιδεύει σε ευθεία
2. ανακλάται προβλέψιμα από καθρέφτες

Τι είναι το φως ?
Σωματίο ή **Κύμα**?

1802
**Πείραμα διπλής
σχισμής**



Thomas Young



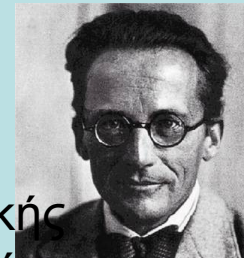
Albert Einstein

1905

Σωματίο
φωτοηλεκτρικό
φαινόμενο

1920

Θεμελίωση κβαντικής
Δυσισμός του φωτός



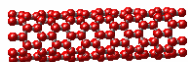
Schrödinger



Heisenberg

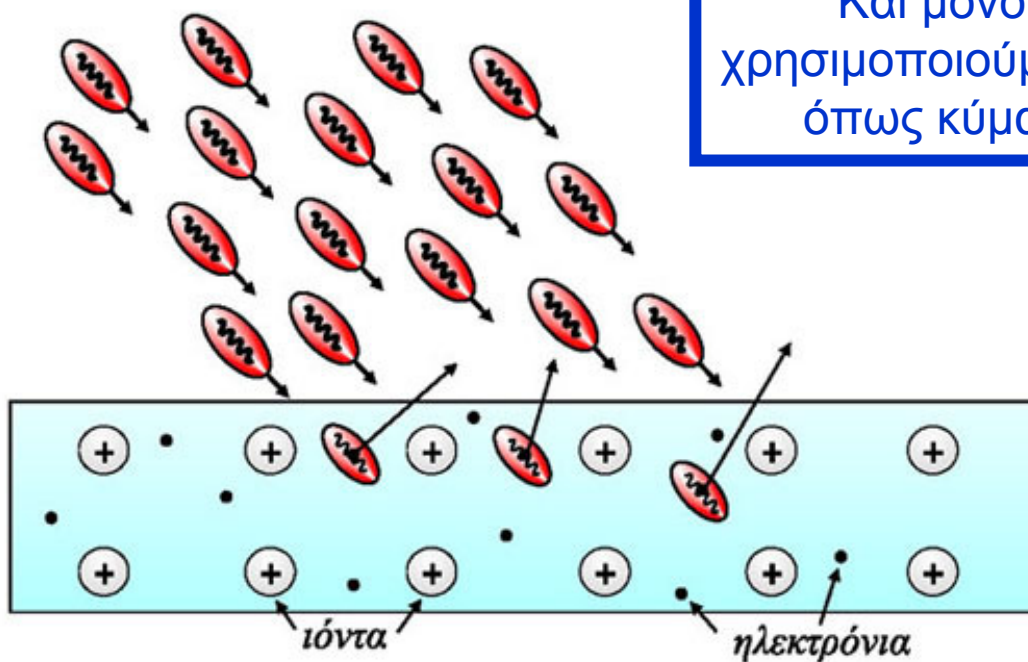


Dirac



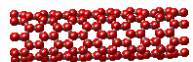
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Φώς & Οπτική

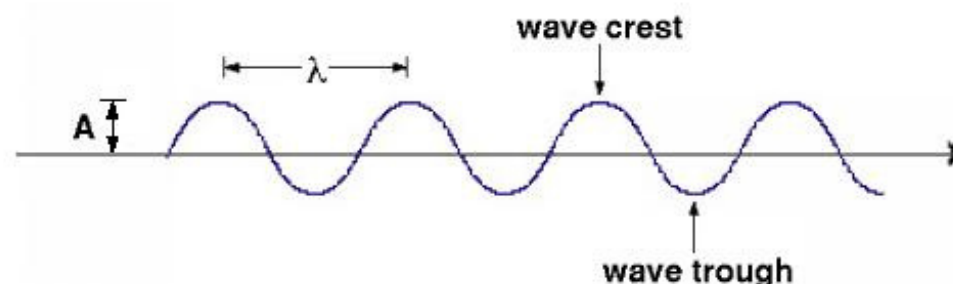
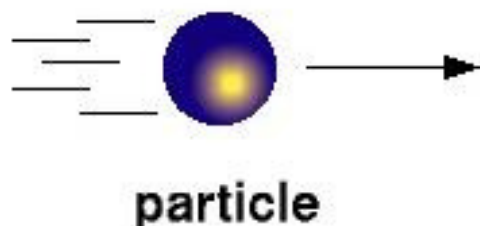


Το φως είναι φως,
Και μόνο για ευκολία
χρησιμοποιούμε οικείους όρους
όπως κύμα και σωματίο

ΣΧΗΜΑ 1.6: Μια σύγχρονη εικόνα για το φως. Η φωτεινή δέσμη που πέφτει στην επιφάνεια ενός μετάλλου και αποσπά τα ηλεκτρόνιά του μπορεί να παρασταθεί ως ένα είδος «φωτεινής βροχής» αλλά με απόλυτα «συμπαγείς» σταγόνες που μπορούν να απορροφηθούν μόνο ως αδιαίρετες μονάδες.



ΣωματΙΑ εναντίον κυμάτων



•Θέση x

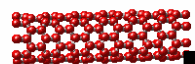
•Μάζα m

•Ορμή $p=mv$

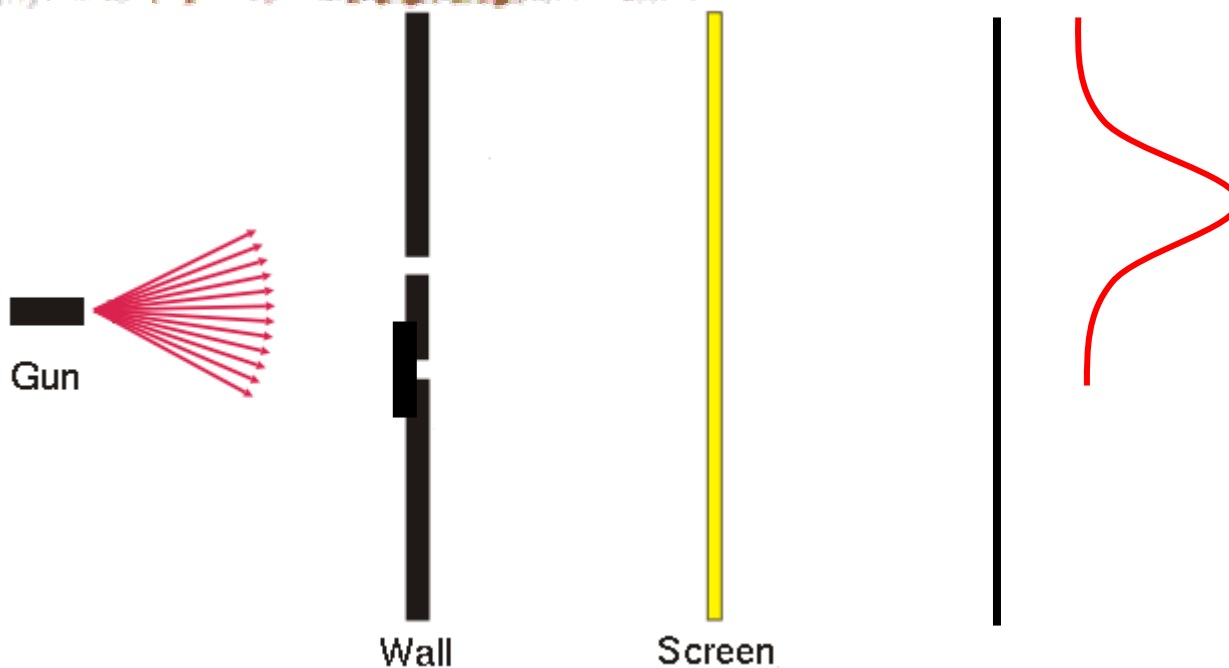
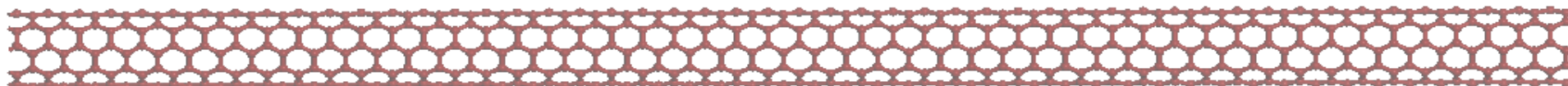
•Μήκος λ

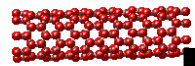
•Πλάτος A

•Συχνότητα $\nu=c/\lambda$
κύκλων το λεπτό

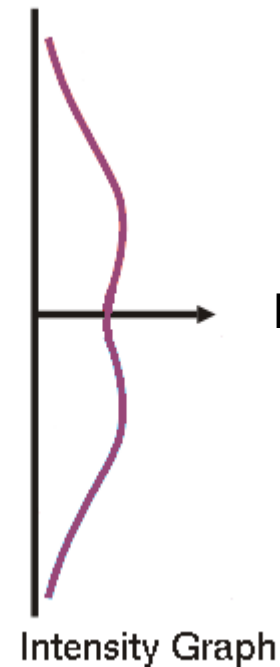
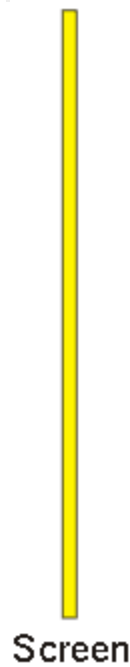
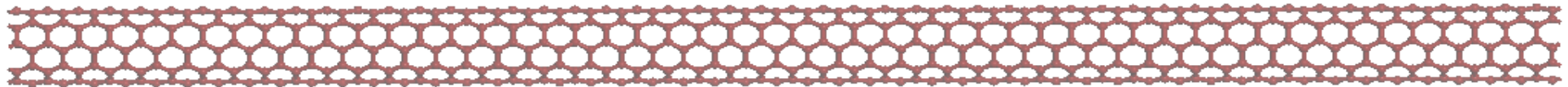


Πείραμα διπλής σχισμής με σφαίρες

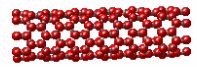




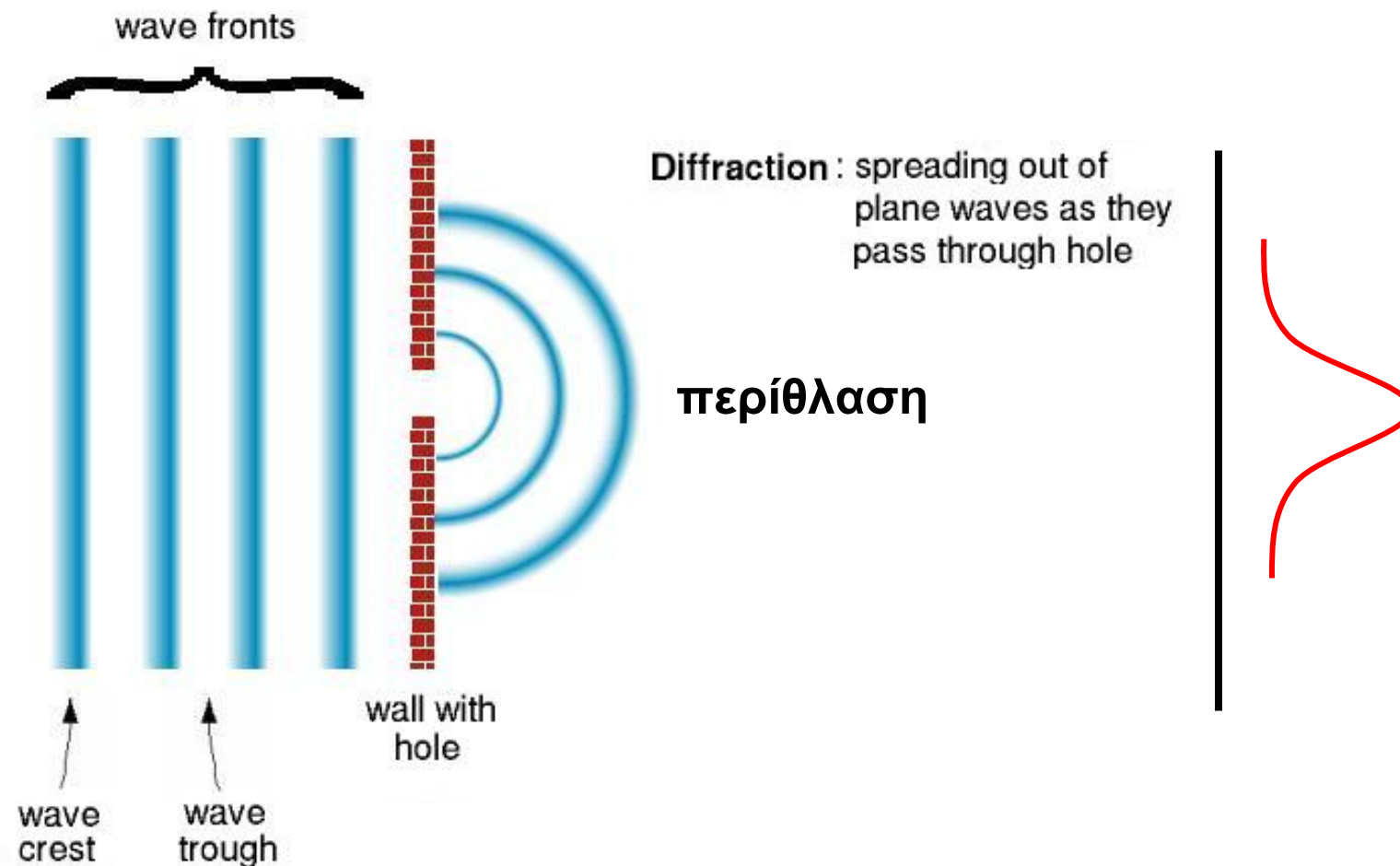
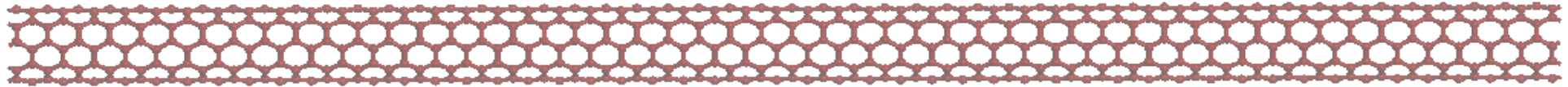
Πείραμα διπλής σχισμής με σφαίρες

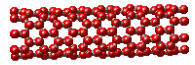


$$I_{12} = I_1 + I_2$$

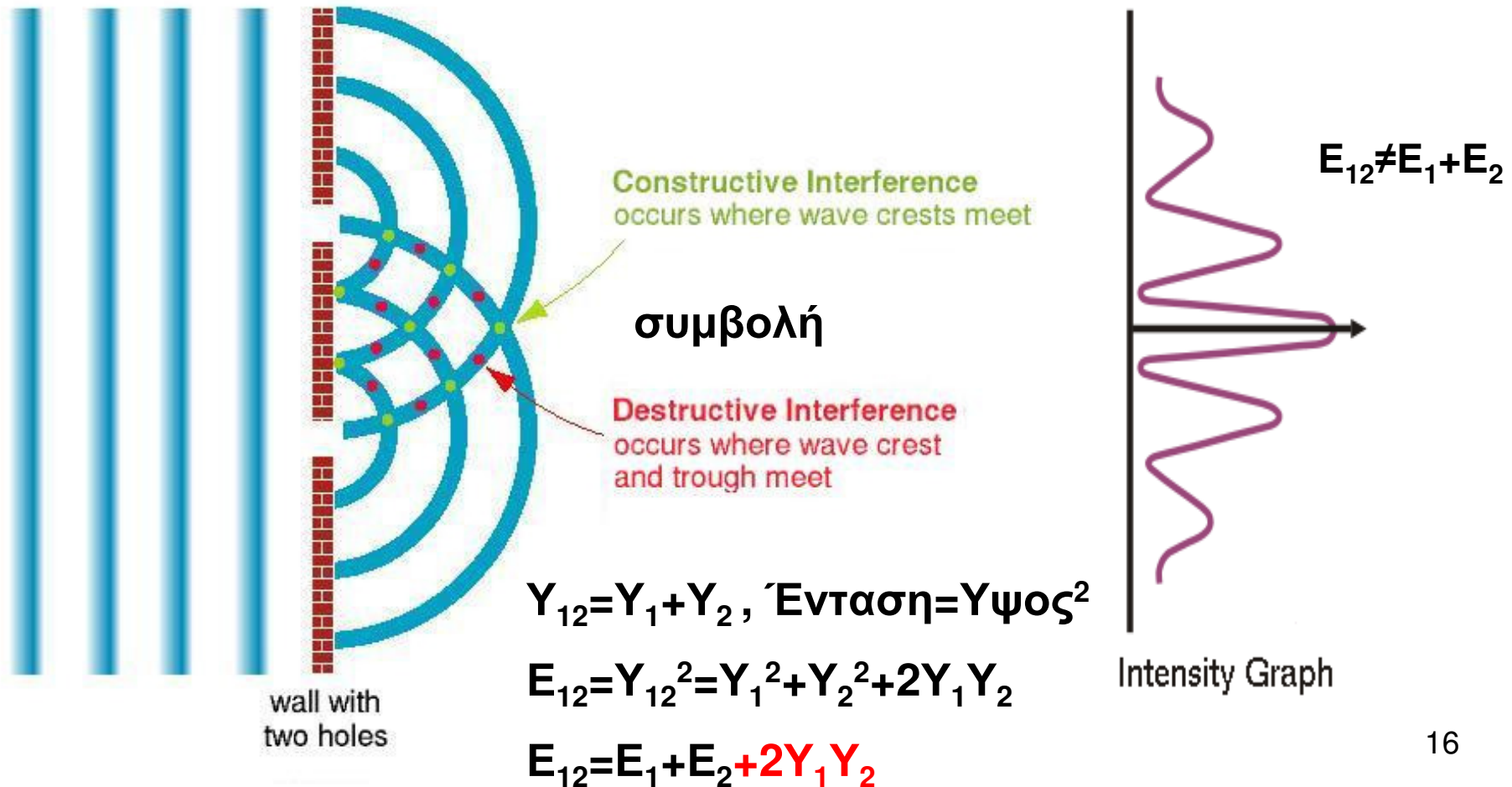
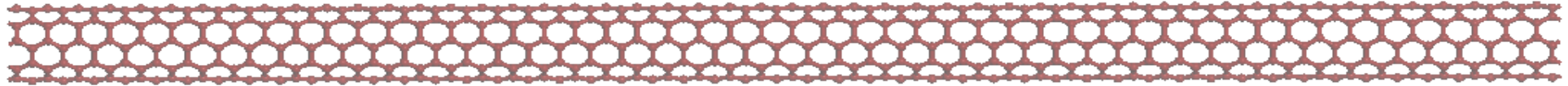


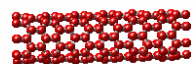
Πείραμα διπλής σχισμής με κύματα



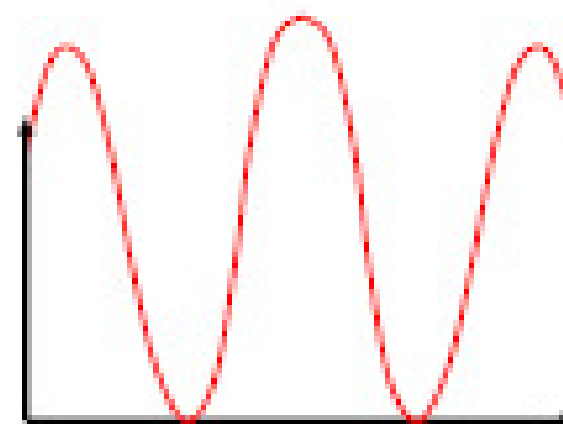
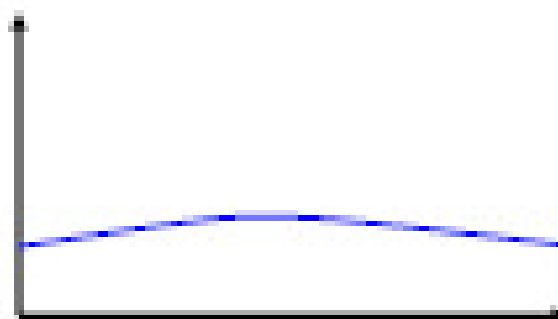
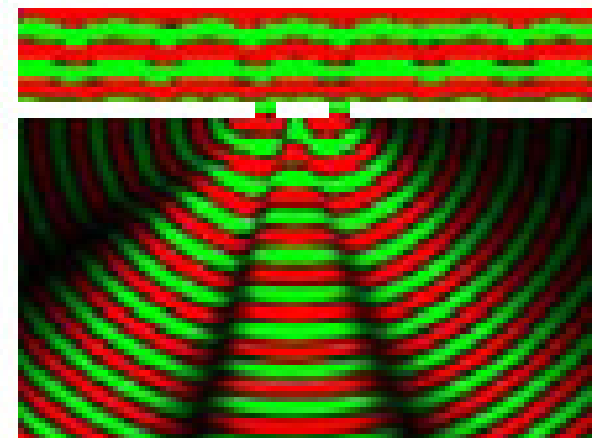
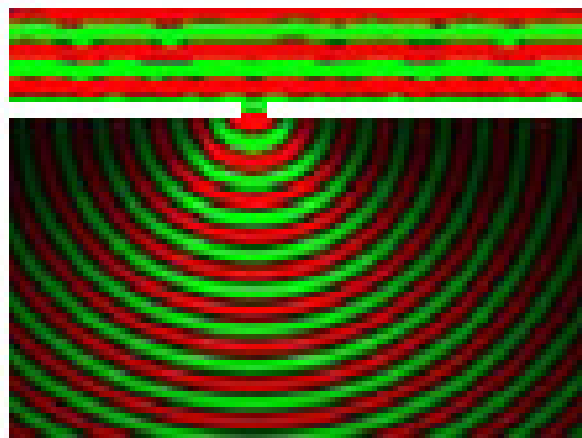
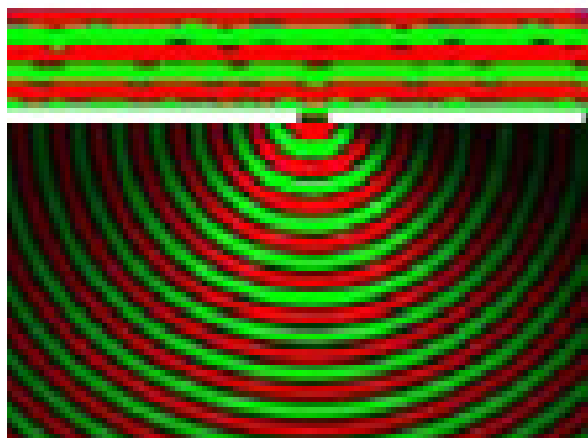
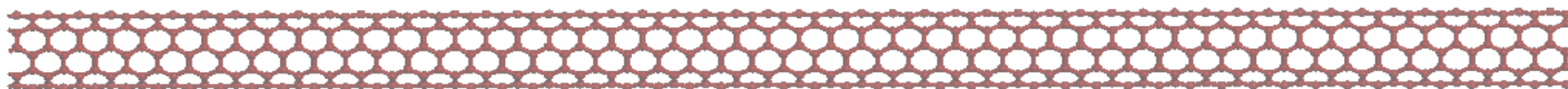


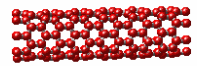
Πείραμα διπλής σχισμής με κύματα



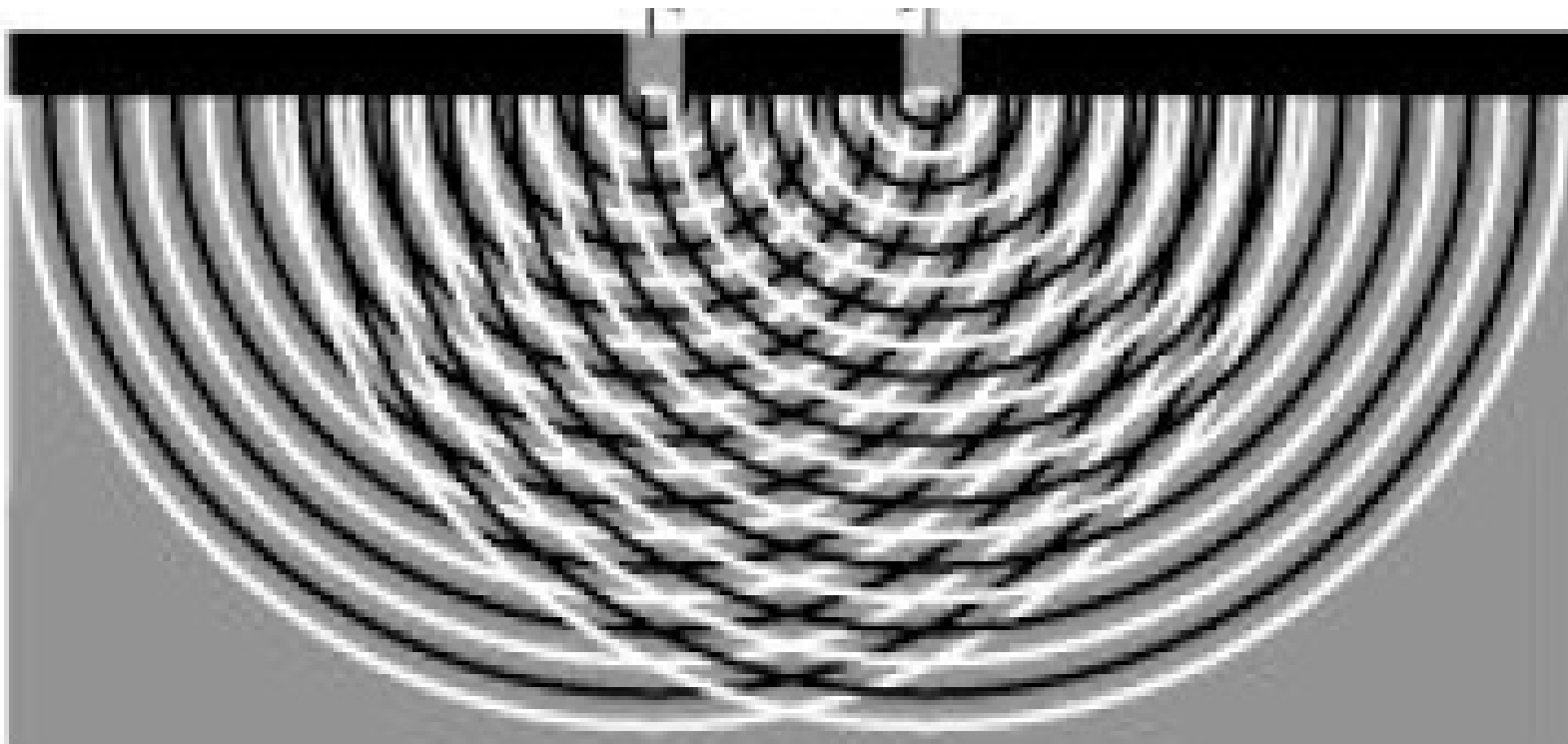
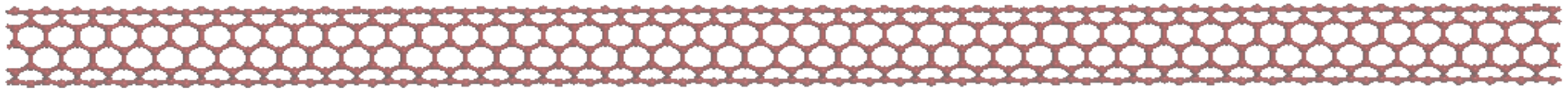


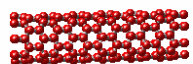
Πείραμα διπλής σχισμής με κύματα



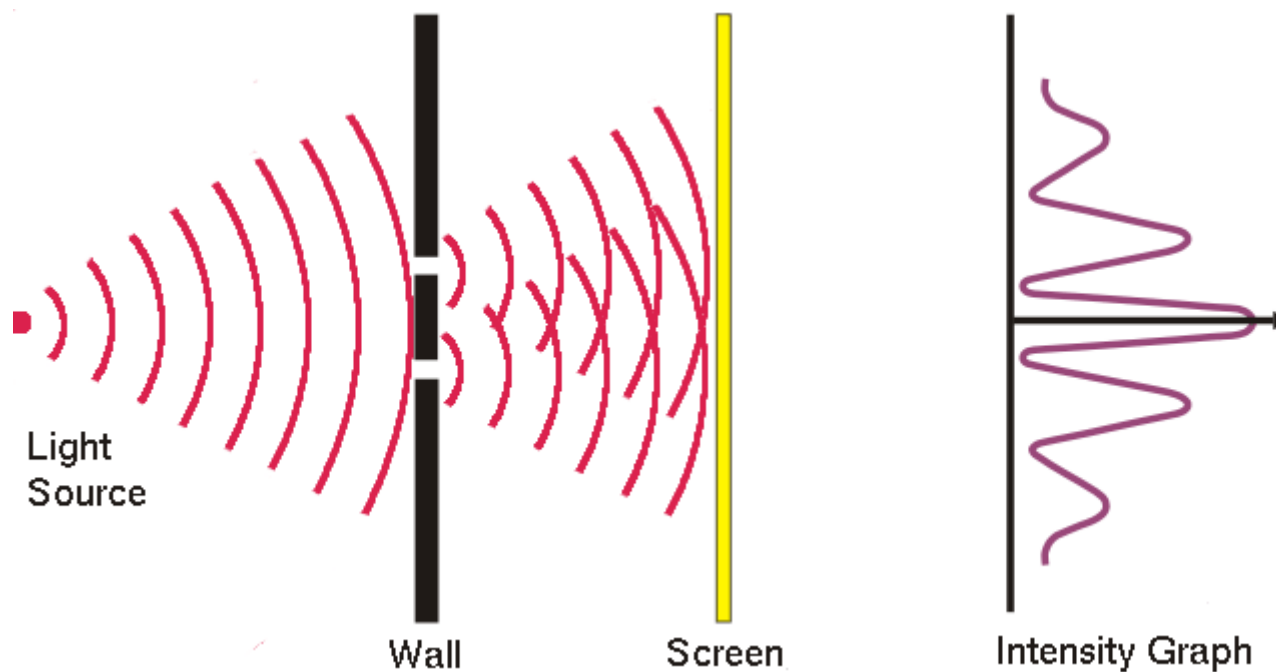
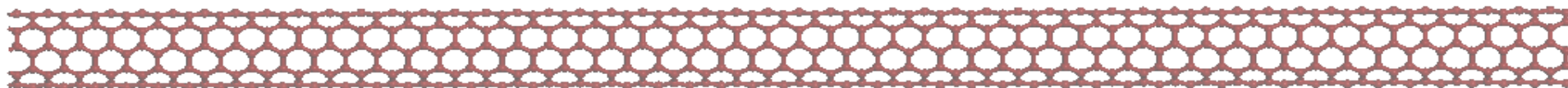


Πείραμα διπλής σχισμής με κύματα

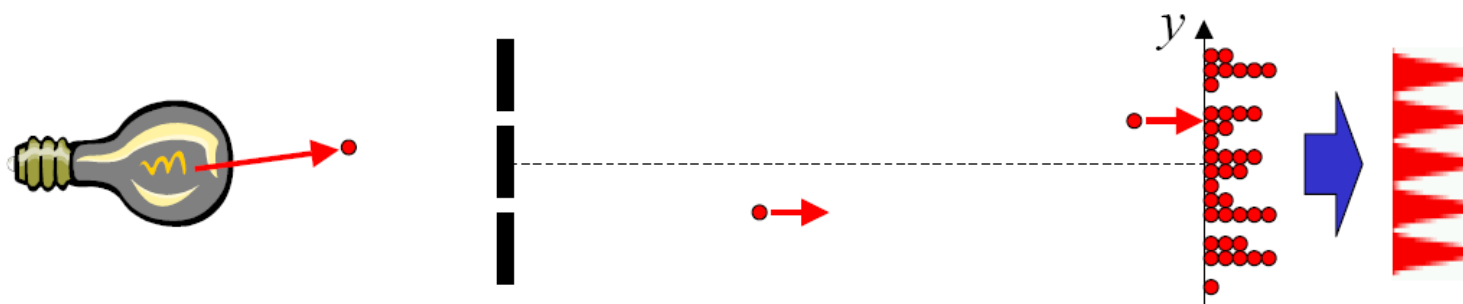
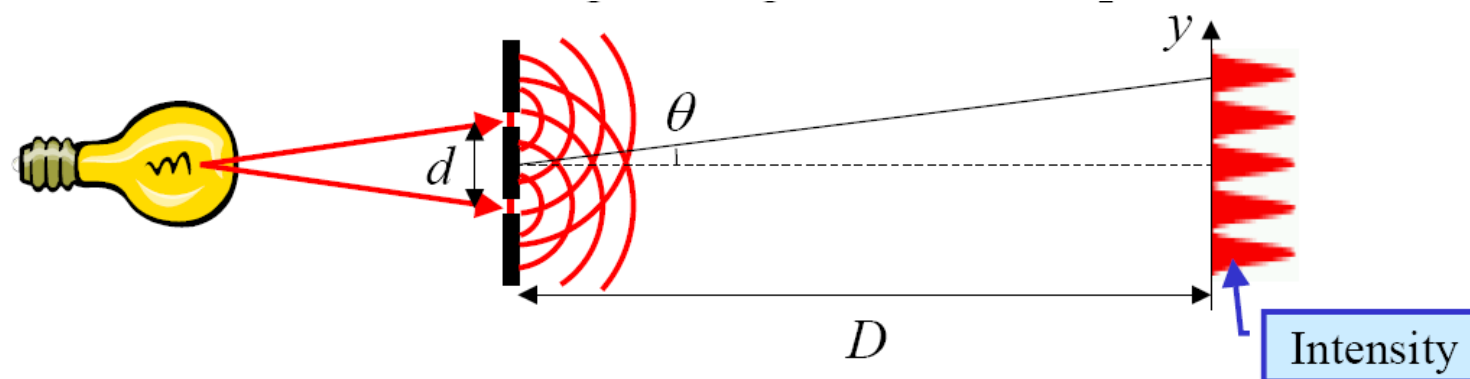


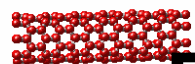


Πείραμα διπλής σχισμής με φως

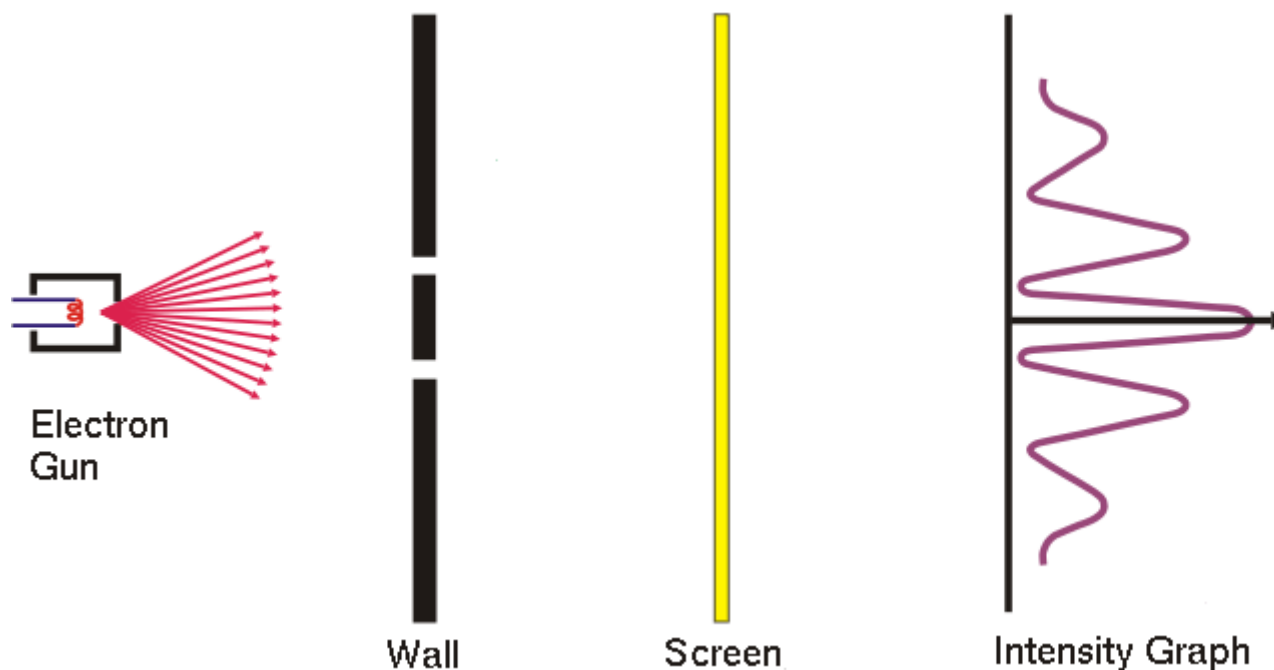
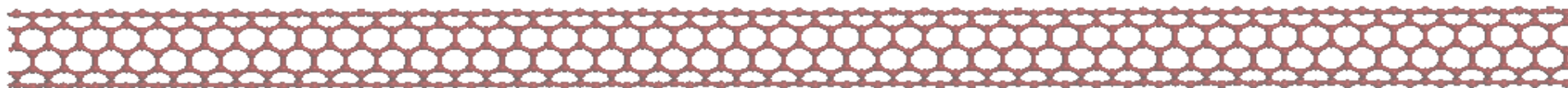


Young's Experiment

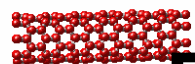




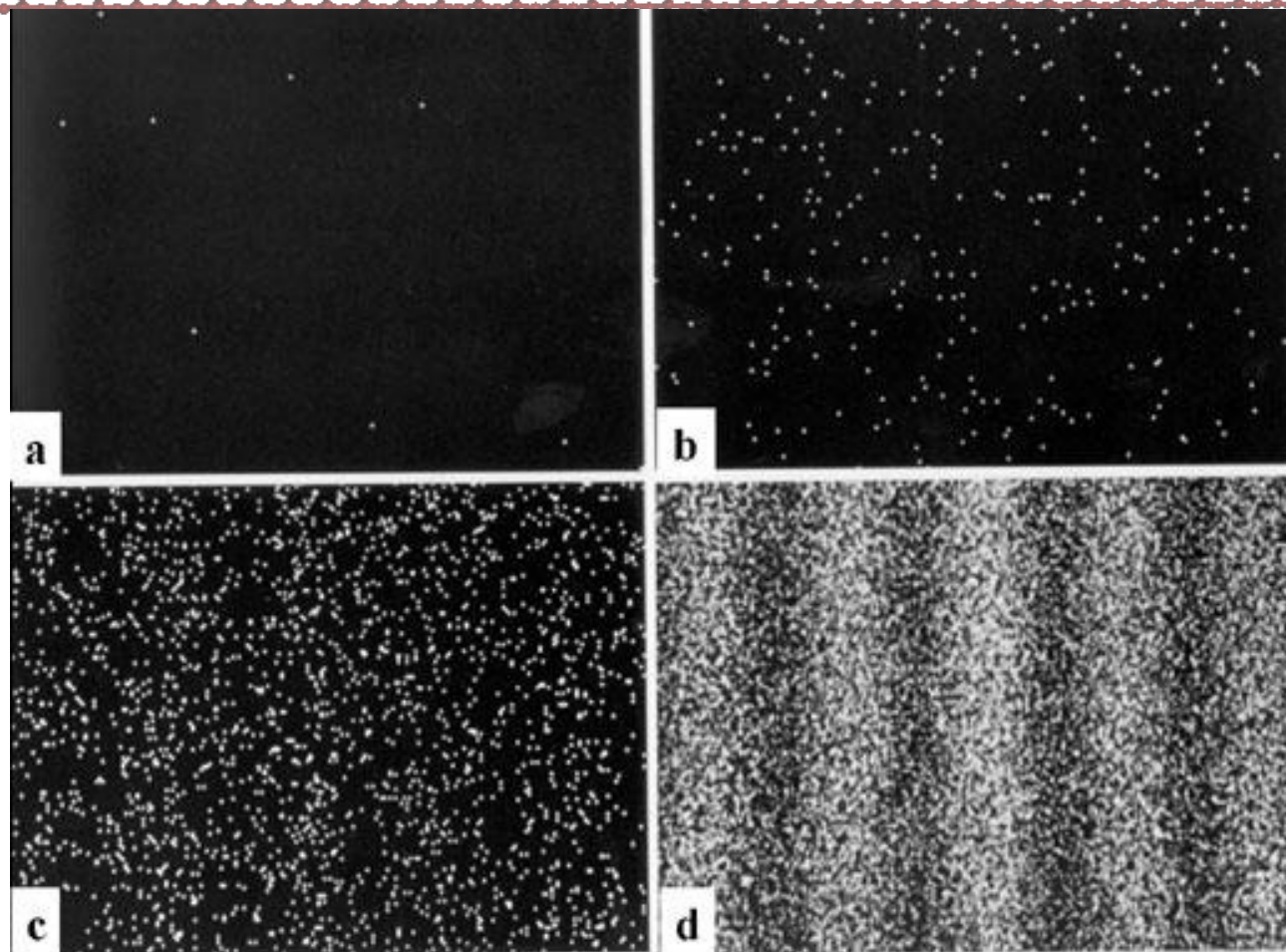
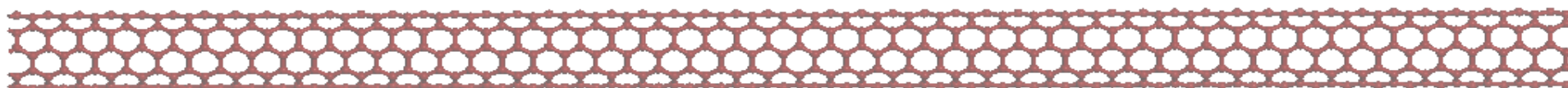
Πείραμα διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια



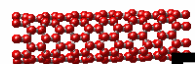
Τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν κύματα !!!



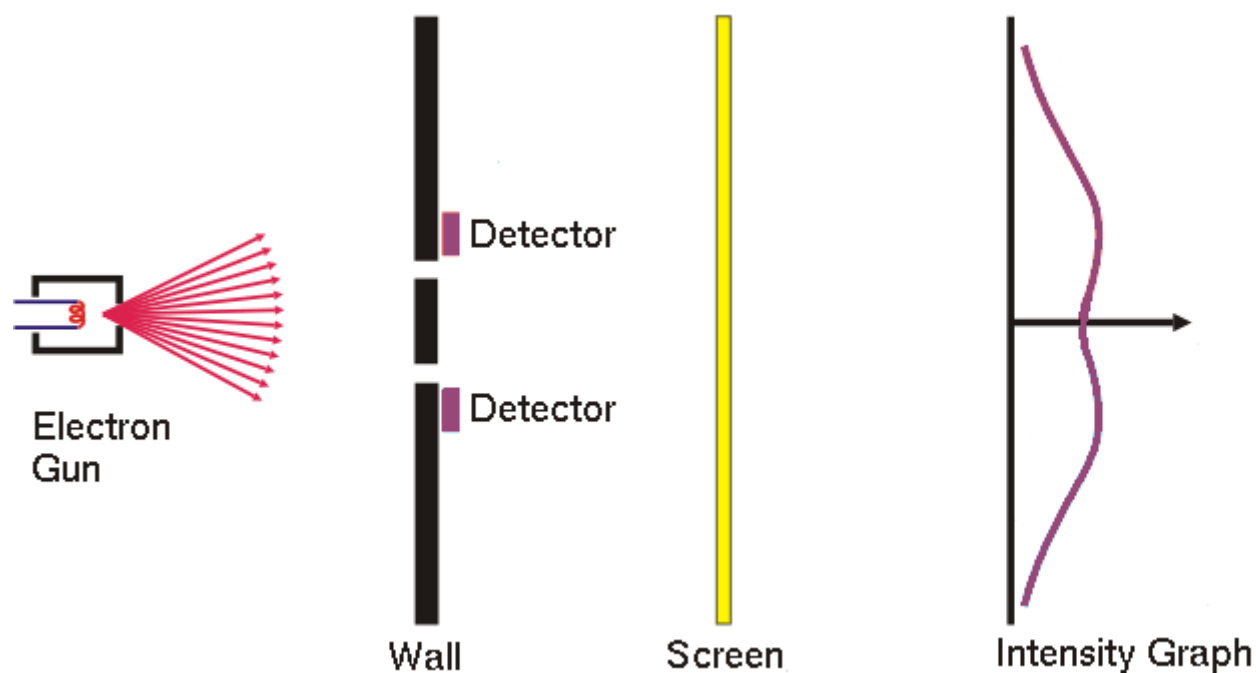
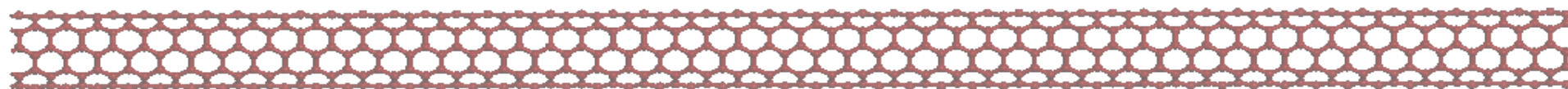
Πείραμα διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια



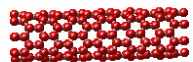
Electron interference pattern after
(a) 8 e⁻, (b) 270 e⁻, (c) 2000 e⁻, and (d) 6000 e⁻



Πείραμα διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια



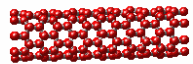
Όταν προσπαθήσουμε να διακρίνουμε το κάθε ηλεκτρόνιο από ποια σχισμή περνά, συμπεριφέρονται σαν σωμάτια



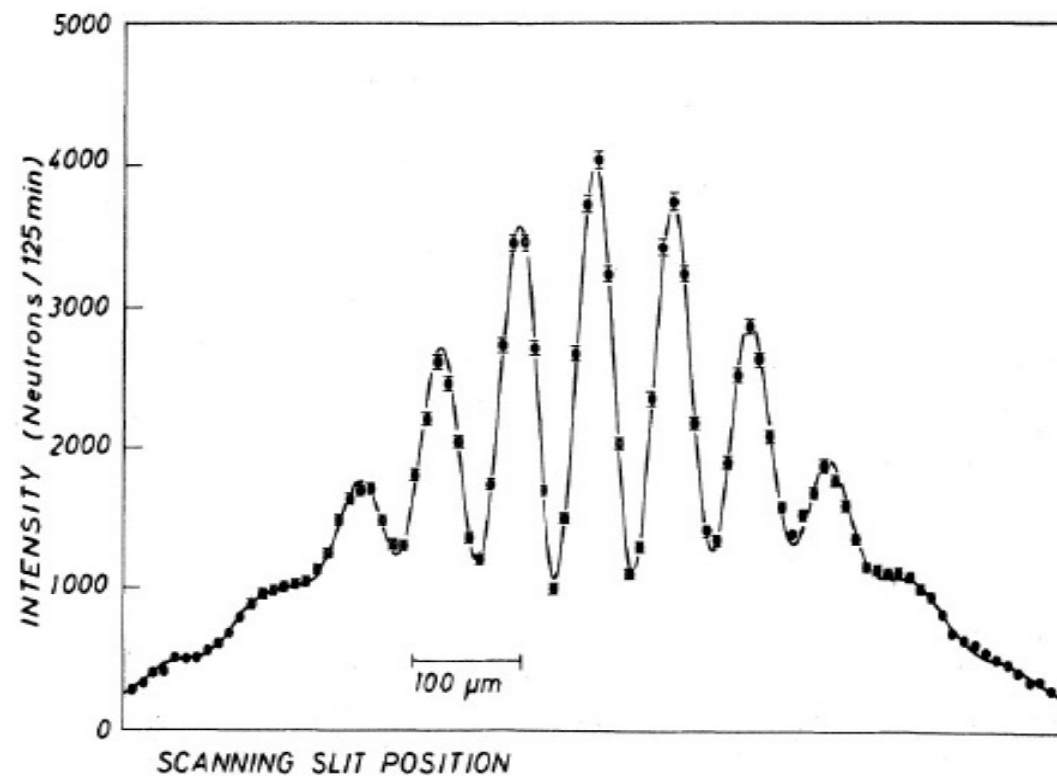
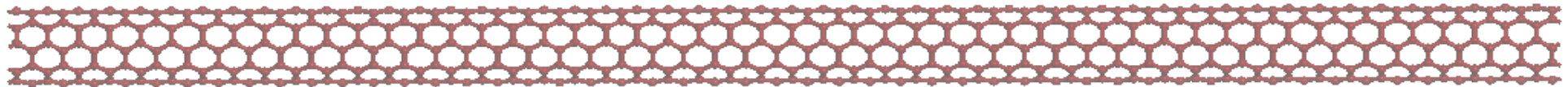
Ιστορικό παράδοξο για e^-

- 1897 J.J. Thomson NOBEL σωματίο
στοιχειώδες σωματίο q_e, m_e
- +30 χρ. G.P. Thomson NOBEL κύμα

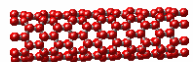




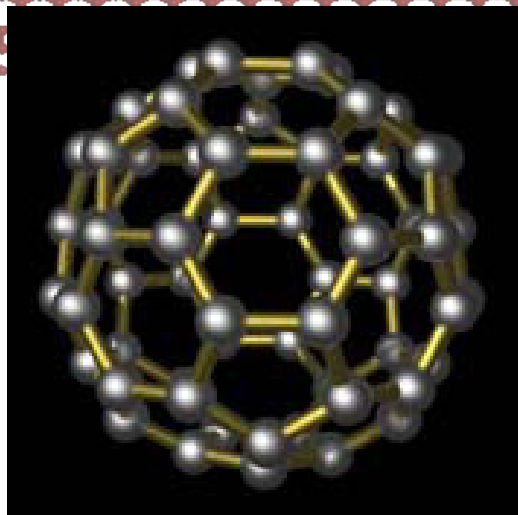
Πείραμα διπλής σχισμής με νετρόνια



A. Zeilinger *et al.*,
***Reviews of Modern Physics* 60, 1067 (1988).**



Πείραμα διπλής σχισμής με C_{60}



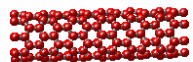
letters to nature

..... **Wave-particle duality of C_{60} molecules**

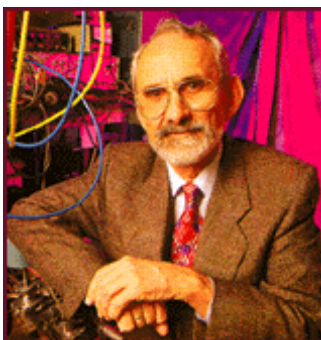
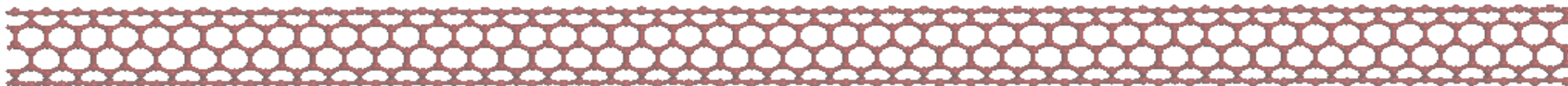
M. Arndt *et al.*,
***Nature* 401, 680 (1999)**

Quantum superposition lies at the heart of quantum mechanics and gives rise to many of its paradoxes. Superposition of de Broglie matter waves has been observed for massive particles such as electrons, atoms and dimmers, small van der Waals clusters, and neutrons. But matter wave interferometry with larger objects has remained experimentally challenging. ...

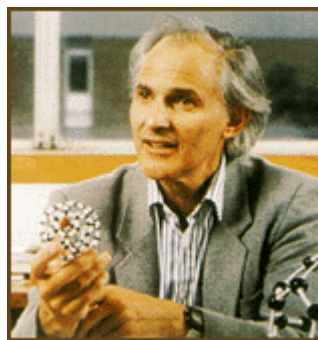
Here we report the observation of de Broglie wave interference of C_{60} molecules by diffraction at a material absorption grating. This molecule is the most massive and complex object in which wave behaviour has been observed. Of particular interest is the fact that C_{60} is almost a classical body.



Βραβείο Nobel 1991



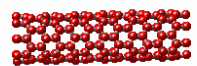
Prof. Robert F. Curl, Jr
Rice University, Houston
TX, USA



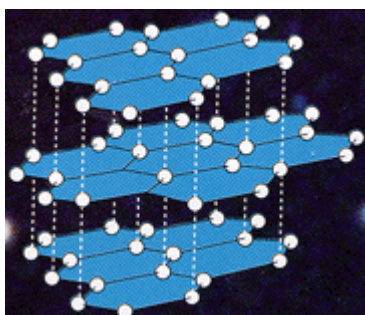
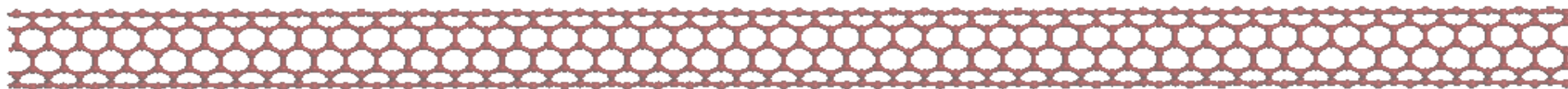
Prof Sir Harold W. Kroto
University of Sussex
Brighton, England



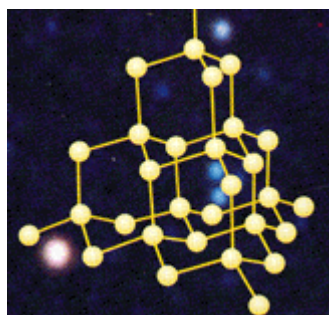
Prof. Richard E. Smalley
Rice University, Houston
TX, USA



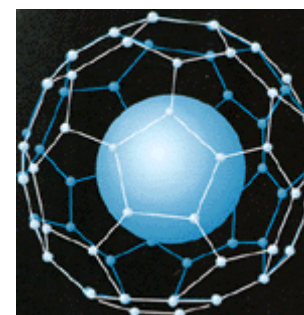
Αλλοτροπικές μορφές άνθρακα



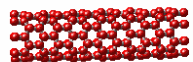
Γραφίτης



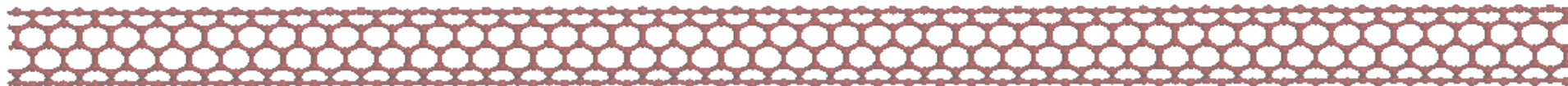
Διαμάντι



C₆₀

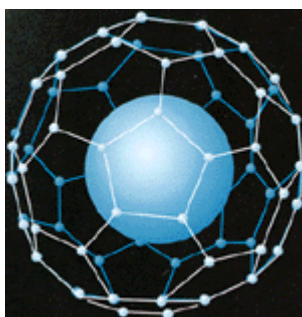


Φουλερένιο



◆ C60

- Η τρίτη αλλοτροπική μορφή πολύ σταθερών σφαιρών (1985)
- Σχηματίζεται όταν ο γραφίτης εξατμίζεται σε αδρανή ατμόσφαιρα.
- Το μόριο του C60 αποτελείται από 12 πεντάγωνα και 20 εξάγωνα με τα άτομα του άνθρακα τοποθετημένα σε κάθε μία γωνία, όπως μια μπάλα ποδοσφαίρου.
- Ονόματα:



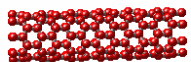
New carbon ball

C60

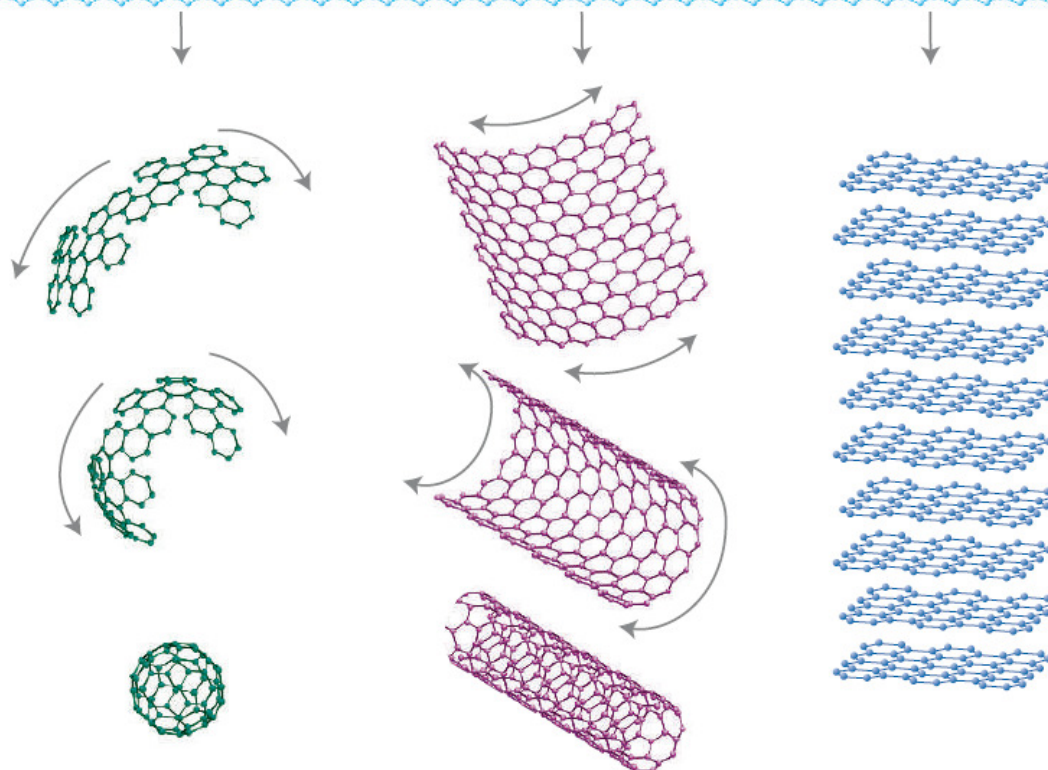
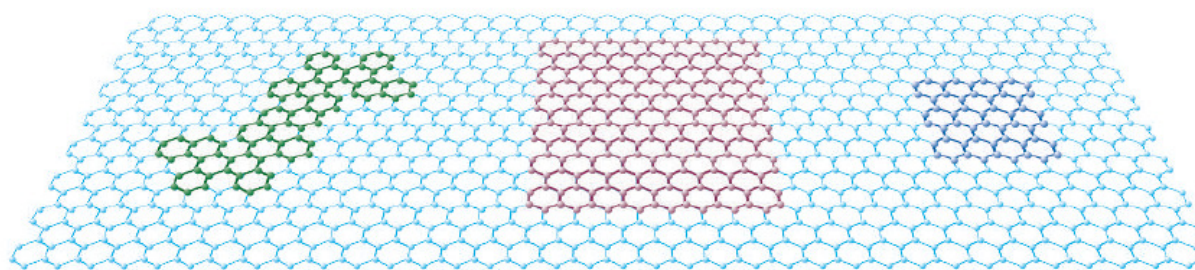
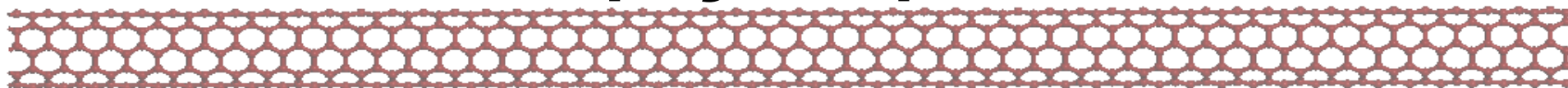
Buckminsterfullerene

(R.Buckminster Fuller : The Geodesic dome 1967)

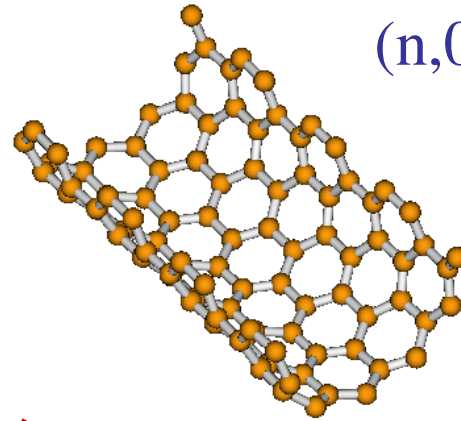
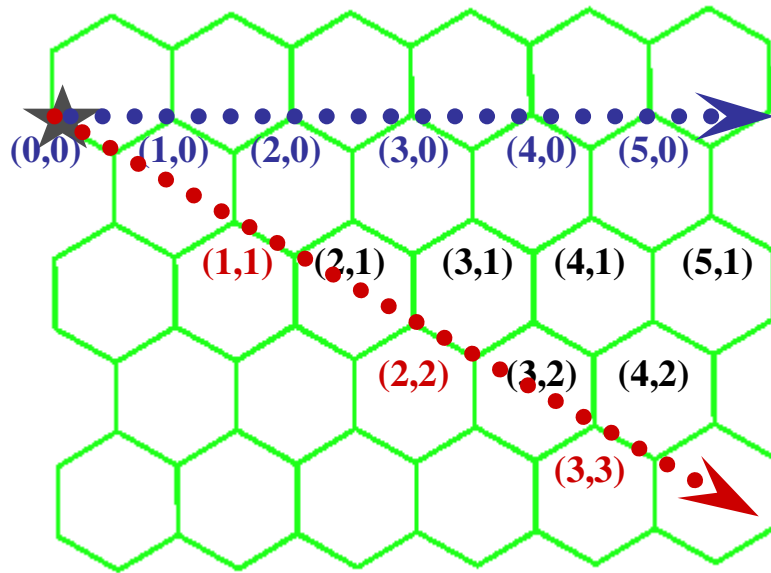
Buckyball



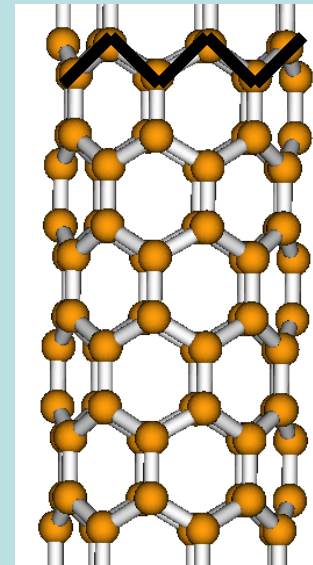
Δομές Άνθρακα



The Story of a Nano-Tube

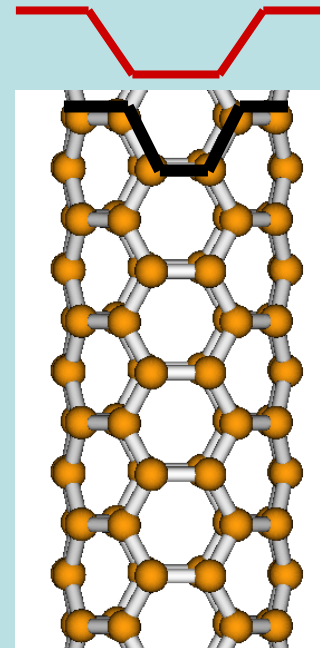


$(n,0)$ zigzag

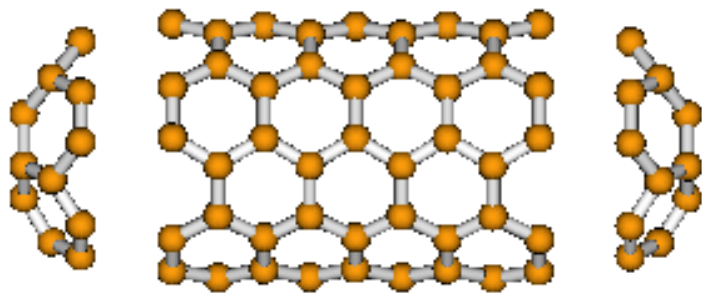


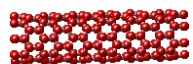
Metallic : $n=3k$
Semiconducting

(n,n) armchair

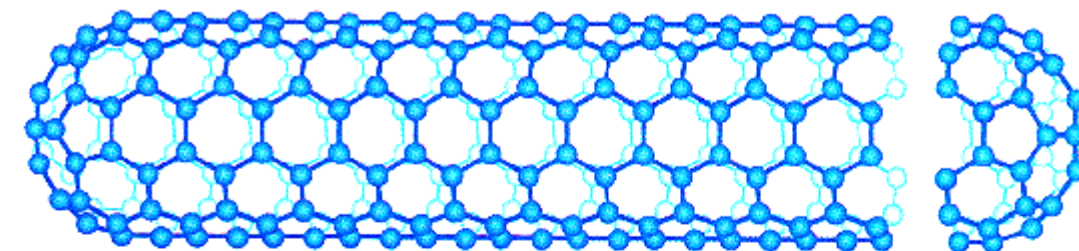
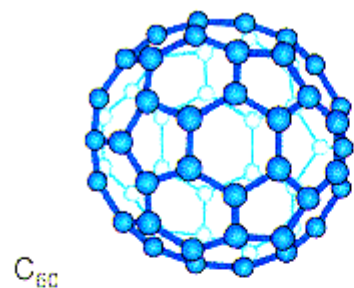


Metallic

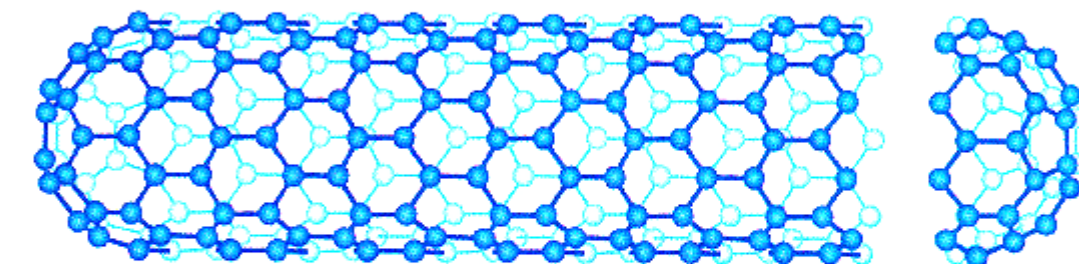
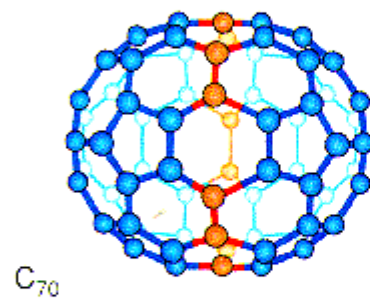




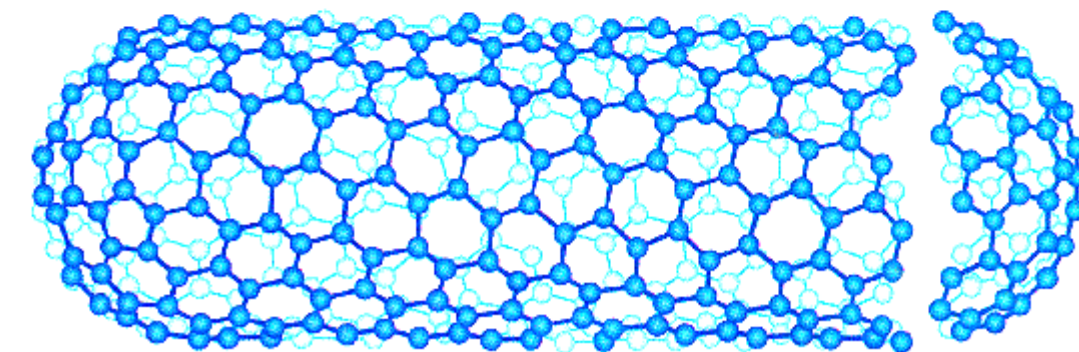
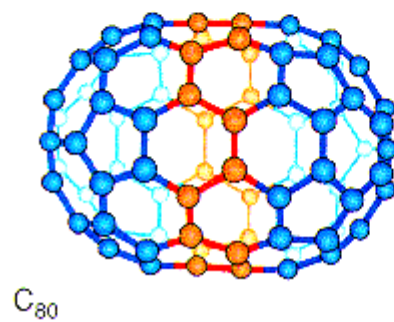
Nano-Tube caps



b

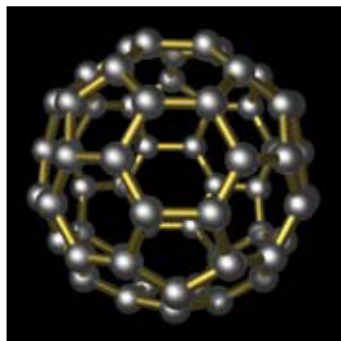


c

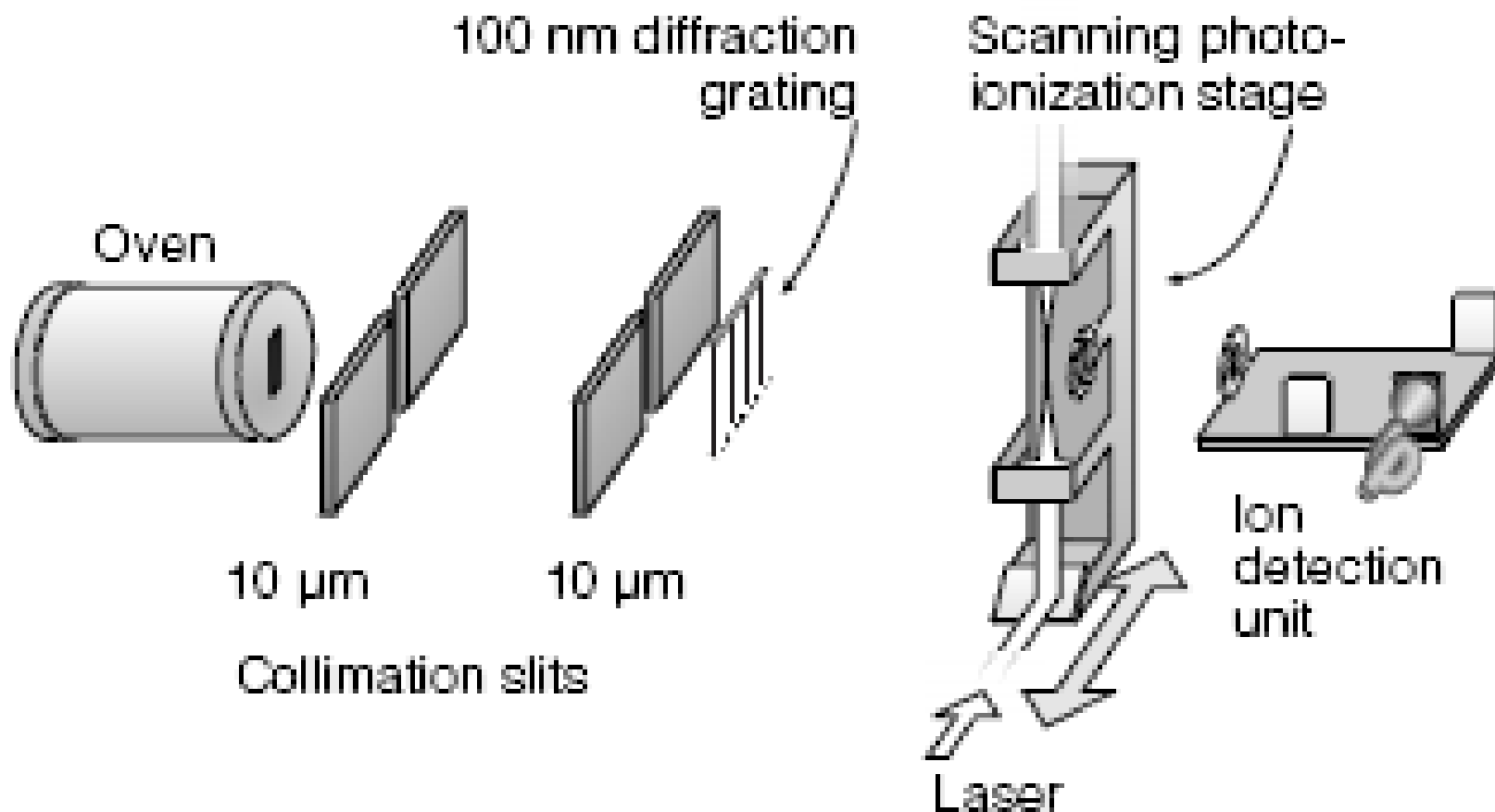


d

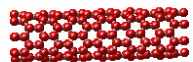
a



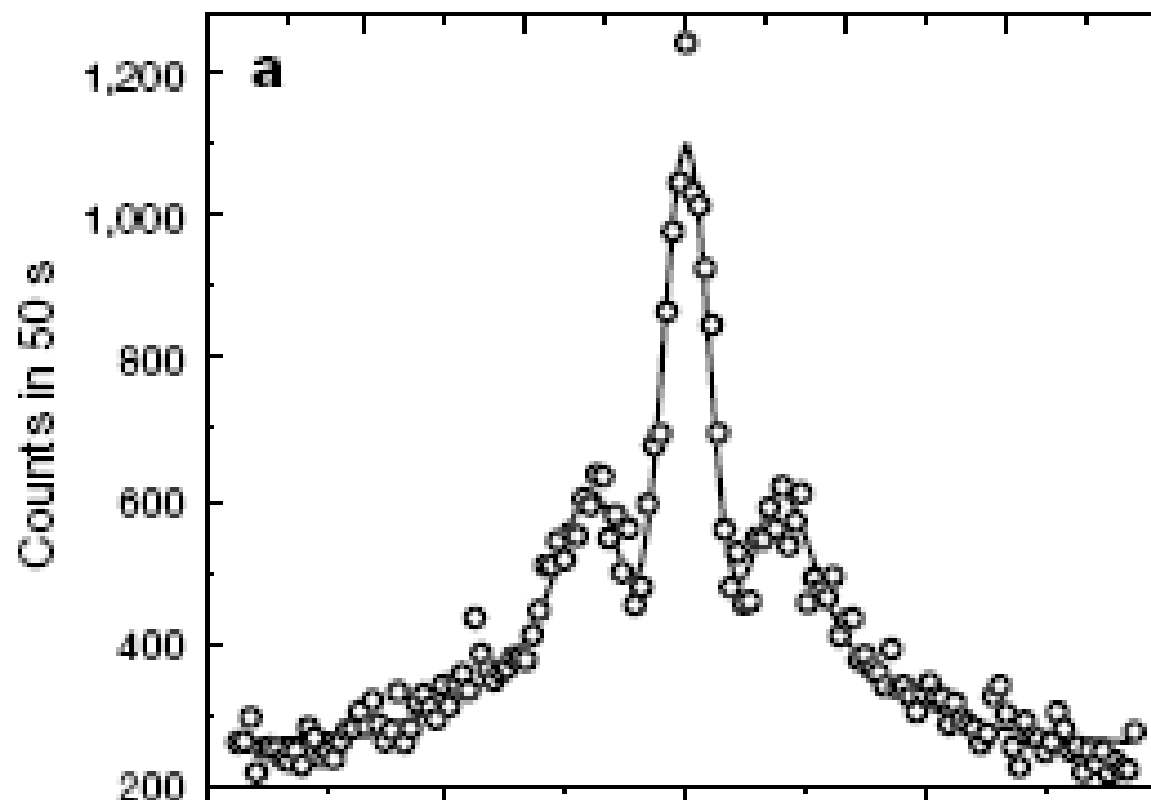
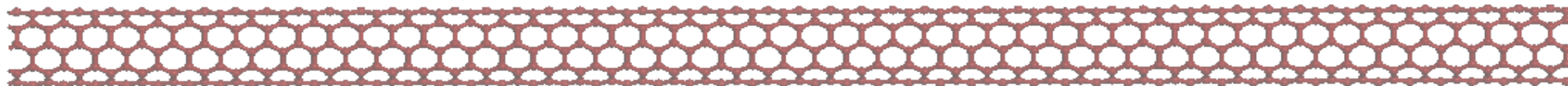
Πείραμα διπλής σχισμής με C_{60}



M. Arndt *et al.*,
Nature **401**, 680 (1999)



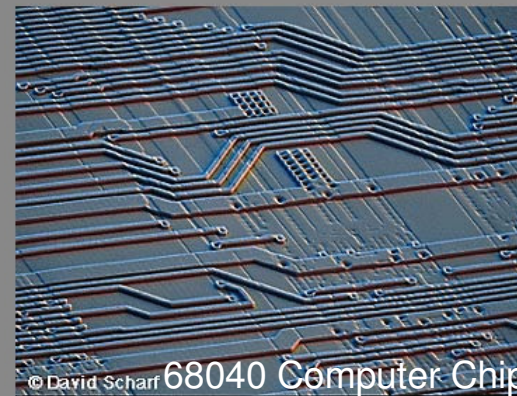
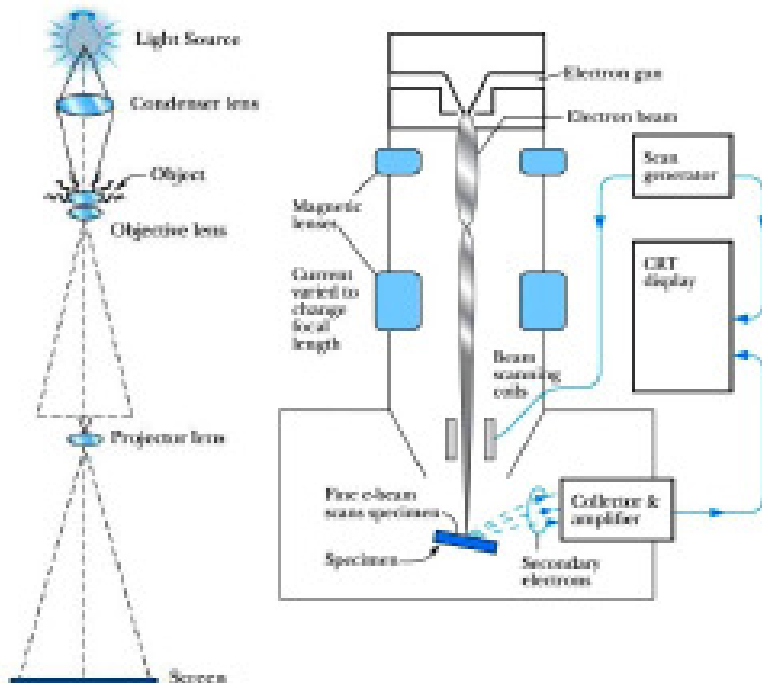
Πείραμα διπλής σχισμής με C₆₀



M. Arndt *et al.*,
Nature 401, 680 (1999)

Εφαρμογή – Ηλεκτρονική μικροσκοπία

- Probably the biggest application of the wave-particle duality of electrons is scanning electron microscopy. Because electrons have a smaller wavelength than photons, they allow much higher resolution imaging than optical microscopes.

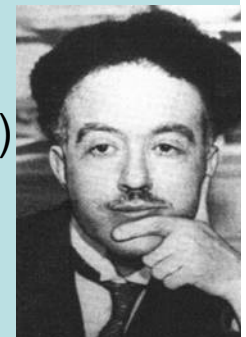


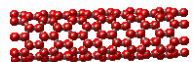
Διακριτική Ικανότητα = Μήκος κύματος

Φώς $\rightarrow 1/1.000.000$ μέτρου = 1 μικρό

Ηλεκτρόνια = $P=h/\lambda$ De Broglie $\rightarrow$

$1/1.000.000.000.000 = 1$ πίκo (=1/1000 νάνο)





Εφαρμογή – Ηλεκτρονική μικροσκοπία

Ηλεκτρονική μικροσκοπία

Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια

Η **ηλεκτρονική μικροσκοπία** κάνει χρήση των ιδιοτήτων των [ηλεκτρονίων](#) καθώς αυτά οπισθοσκεδάζονται από ένα σώμα ή διέρχονται μέσα από αυτό.

Η υπεροχή ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου εν συγκρίσει με ένα οπτικό μικροσκόπιο στηρίζεται στα εξής:

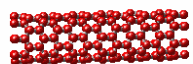
Ένα οπτικό μικροσκόπιο μας επιτρέπει μεγέθυνση εκατοντάδων φορές.

Ωστόσο η ελάχιστη λεπτομέρεια που μπορεί να διακριθεί είναι περίπου 200nm, όριο το οποίο το θέτει η κυματική φύση του ορατού φωτός και το ελάχιστο [μήκος κύματος](#) του.

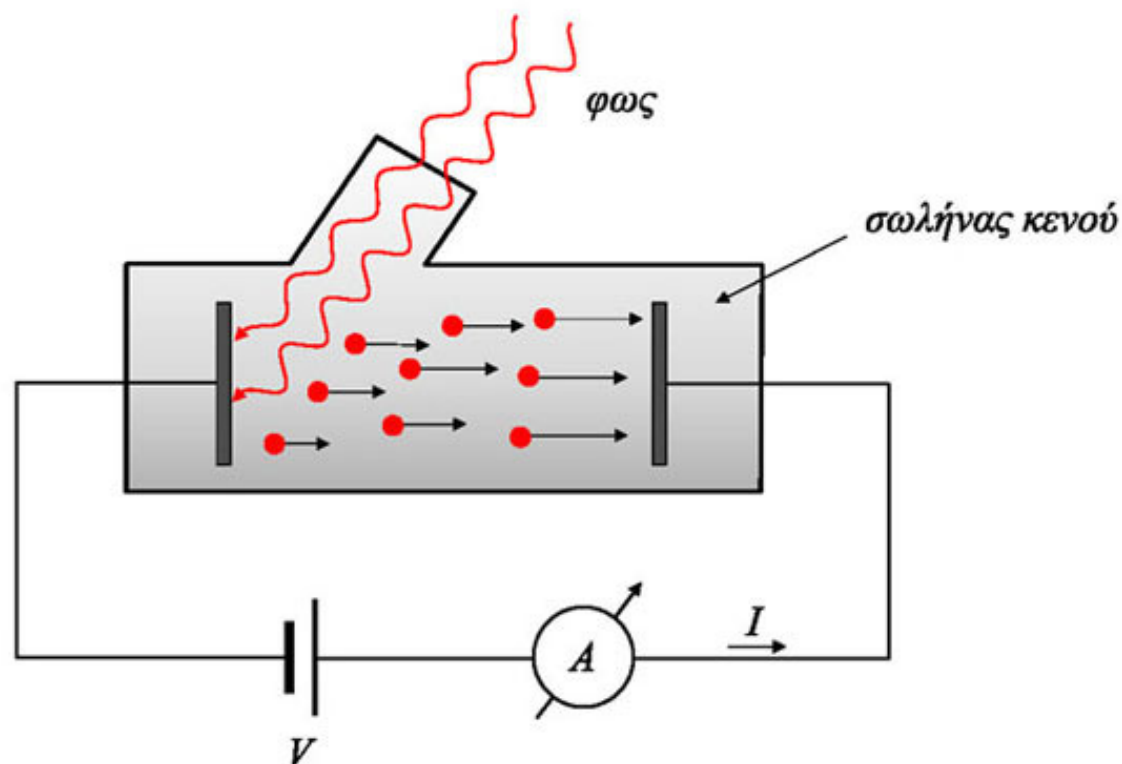
Αντιθέτως, ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο εκμεταλλεύεται τη κυματική φύση των ηλεκτρονίων σε μήκη κύματος πολύ μικρότερα. Όπως γνωρίζουμε η σχέση μήκους κύματος και [ορμής](#) ή ενέργειας δίνεται από τον τύπο:

$$\lambda = h/p = hc/E,$$

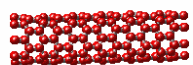
όπου h η [σταθερά του Πλανκ](#), p η ορμή και E η [ενέργεια](#). Για ηλεκτρόνια ενέργειας 3600 [eV](#) και σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο το μήκος κύματος ισούται με 0,02 nm. Βέβαια η τελική μέγιστη ανάλυση είναι μικρότερη, της τάξεως του 0,1 nm καθώς υπεισέρχονται περιορισμοί από τη κατασκευή του οργάνου.



Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

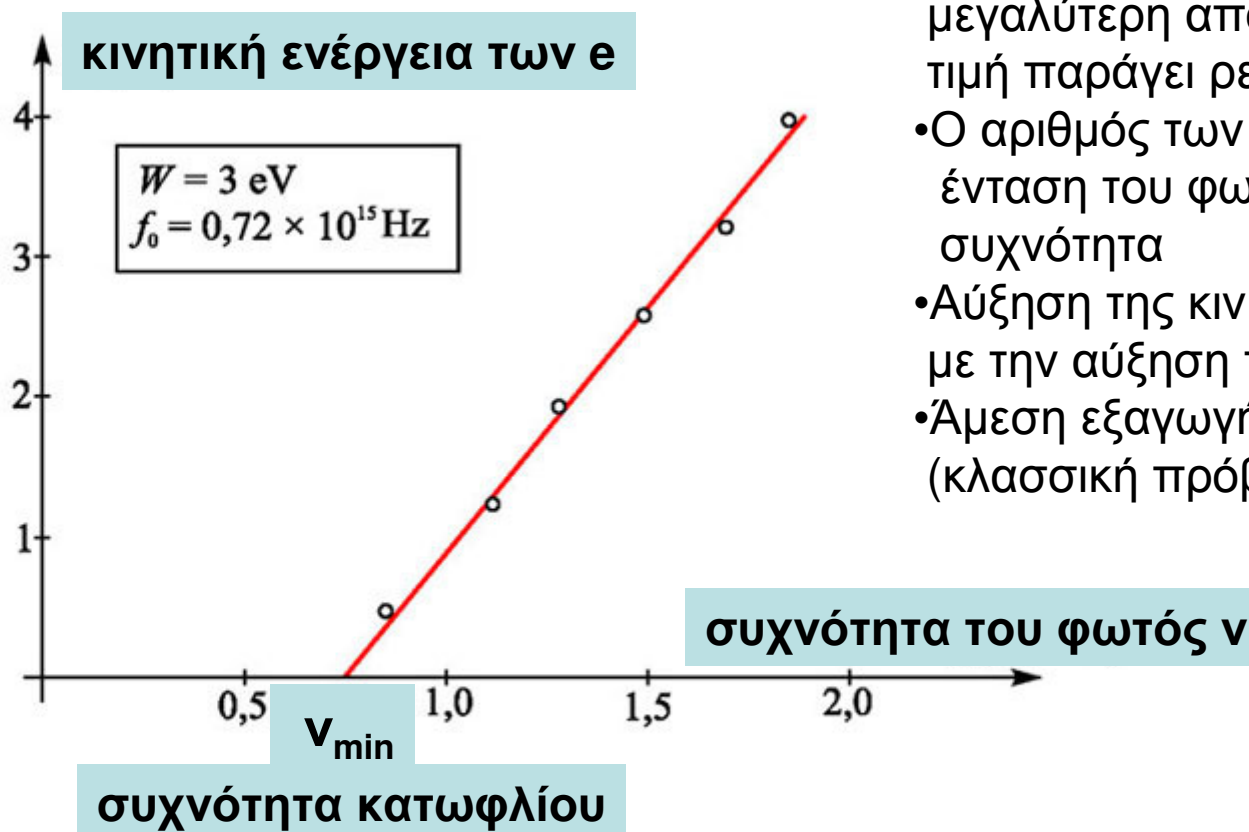


ΣΧΗΜΑ 1.4: Σχηματοποιημένη πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Η φωτεινή δέσμη «πέφτει» σε μια φωτοευαίσθητη κάθοδο και τα αποσπώμενα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την άνοδο και παράγουν το φωτοηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα.

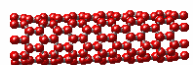


Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

προβλήματα κλασσικής θεωρίας



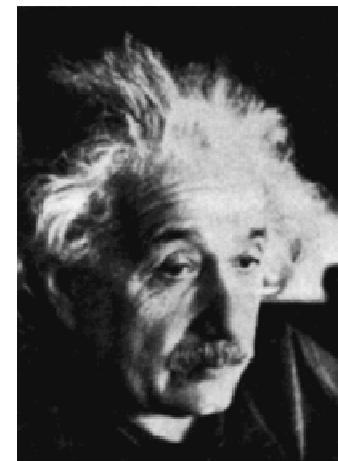
- Μόνο φως με συχνότητα μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή παράγει ρεύμα
- Ο αριθμός των e εξαρτάται από την ένταση του φωτός και όχι από την συχνότητα
- Αύξηση της κινητικής ενέργειας των e με την αύξηση της συχνότητας του φωτός
- Άμεση εξαγωγή e στο φωτισμό (10^{-9} sec) (κλασσική πρόβλεψη 1 min)



Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

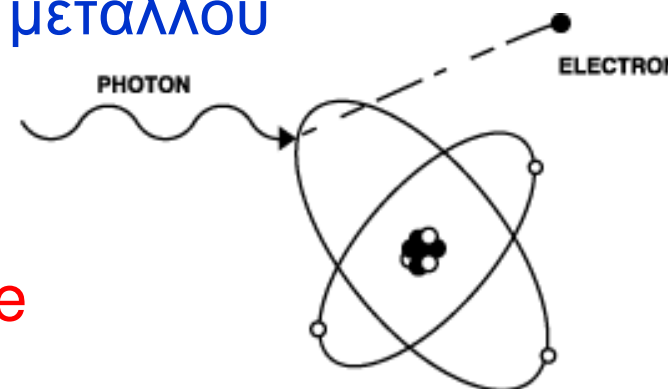
Ερμηνεία Einstein (1905)

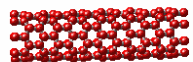
- Το φως αποτελείται από **κβάντα** ενέργειας, τα **φωτόνια**
- Κάθε φωτόνιο που κτυπά ένα στόχο θα εξάγει ένα ηλεκτρόνιο αρκεί να έχει την απαιτούμενη ενέργεια $E = h\nu$ **σχέση Plank-Einstein**
($h=6.6 \times 10^{-34} \text{Js}$ **σταθερά Plank**)
 $h\nu = W + 1/2mv^2$ **W : έργο εξαγωγής μετάλλου**



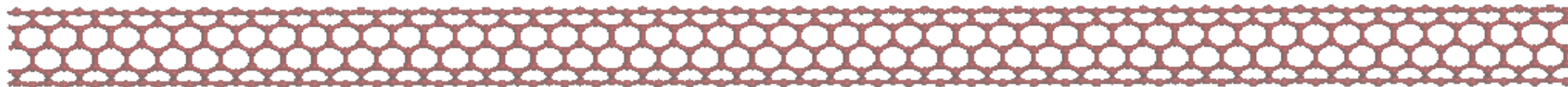
Albert Einstein won a Nobel Prize for his work on the photoelectric effect and not his theory of relativity!

↑ ένταση φωτός $\rightarrow$ ↑ # φωτονίων $\rightarrow$ ↑ # e
 ↑ συχνότητα φωτός $\rightarrow$ ↑ κινητική ενέργεια e
 όταν $\nu > W/h$





Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

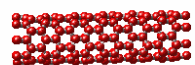


Γιατί δεν μαυρίζουμε στο φώς του λαμπτήρα ;

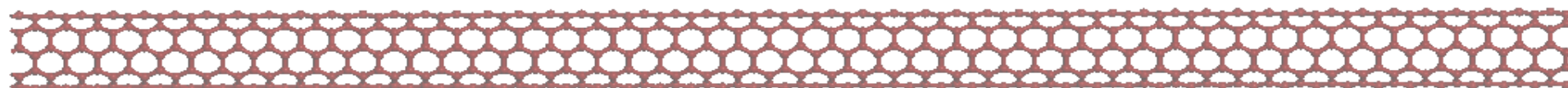
Συχνότητα κατωφλίου

Γιατί αν δεν ήταν κβαντωμένη η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η ύλη θα διαλυόταν ;

Χωρίς την κβάντωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τα e των ατόμων θα απορροφούσαν συνεχώς ενέργεια από το φως οποιασδήποτε συχνότητας με αναπόφευκτο τέλος την διάλυση της ύλης



Light & the Electromagnetic Spectrum



Wavelength in centimeters



About the size of...

