

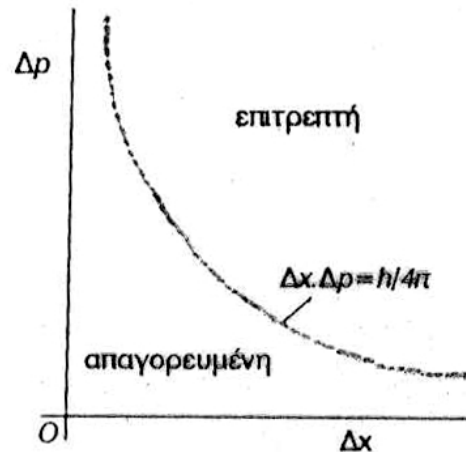
αρχή της αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας του Heisenberg:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi$$

- Το $h/4\pi$ καταργεί την έννοια της τροχιάς.

η οποία μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Το γινόμενο της αβεβαιότητας (ή του σφάλματος) στον καθορισμό της θέσης ενός μικρού σωματιδίου Δx και της αβεβαιότητας (ή του σφάλματος) στον καθορισμό της ορμής Δp δεν μπορεί να γίνει μικρότερη από $h/4\pi$.



Γραφική παρουσίαση της αρχής της αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας του

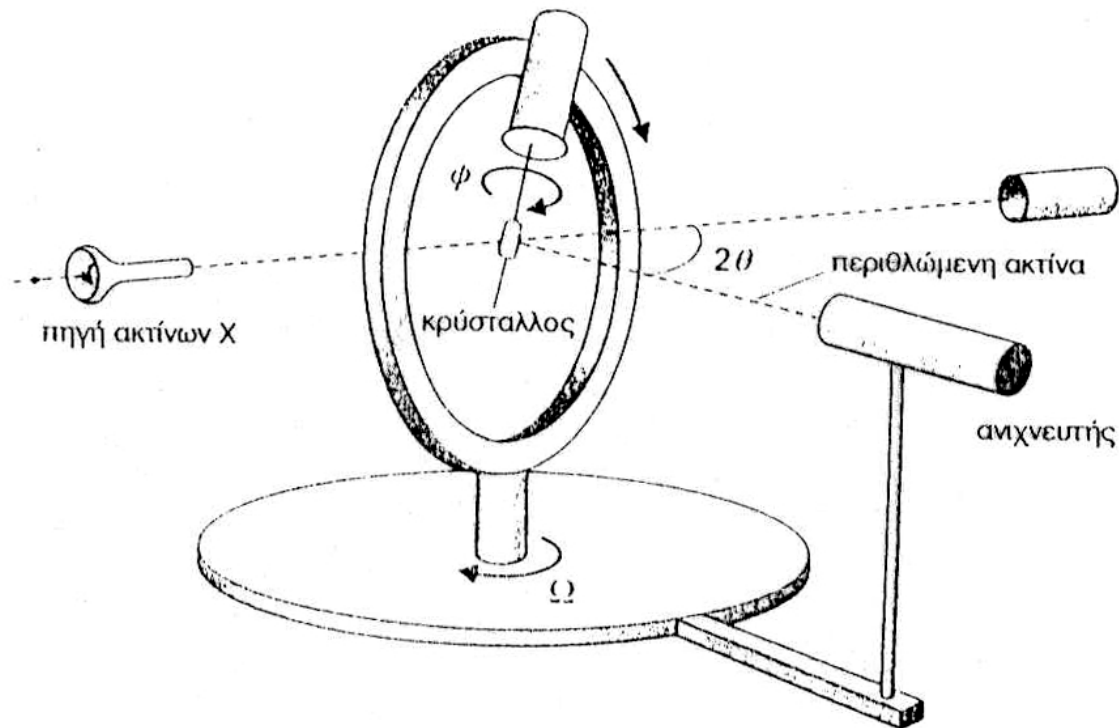
Heisenberg.

Η αποδοχή της αρχής της αβεβαιότητας οδηγεί αυτομάτως στην κατάρριψη όλων των πλανητικών προτύπων, συμπεριλαμβανομένου και του ατομικού πρότυπου Bohr. Πράγματι η παραδοχή της κίνησης του ηλεκτρονίου σε καθορισμένη κυκλική τροχιά προϋποθέτει, με βάση τους νόμους της κυκλικής κίνησης, επακριβή γνώση της θέσης και της ταχύτητας.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι λόγω της απειροελάχιστης τιμής που έχει το h ($6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$), η παραπάνω σχέση δεν έχει κανένα νόημα στο μακρόκοσμο, όπου άλλες πηγές σφαλμάτων υπερκαλύπτουν τη θεμελιώδη αβεβαιότητα, που εκφράζεται από την παραπάνω ανισότητα. Επίσης, θεμελιώδες είναι το εξής σημείο:

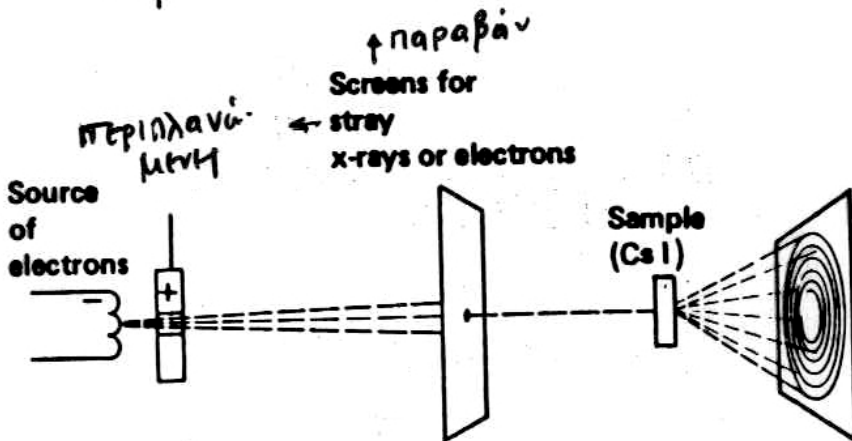
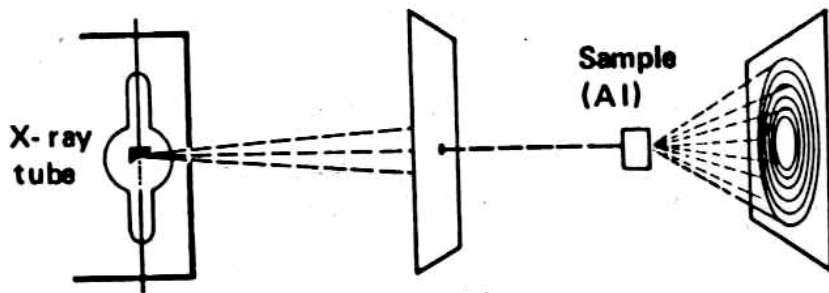
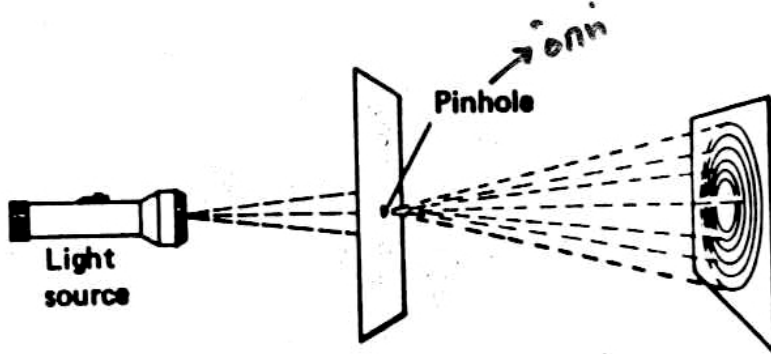
Η σχέση αβεβαιότητας του Heisenberg ορίζει τα όρια πέρα από τα οποία οι έννοιες της Κλασικής Φυσικής δεν μπορούν να εφαρμοστούν.

- Περίθλαση είναι η κάμψη του φωτός πάνω σ' ένα εμπόδιο, όπως είναι το άκρο μιας σχισμής ή τα δομικά σωματίδια ενός κρυστάλλου.



νων X.

Σχηματική παρουσίαση της αρχής λειτουργίας ενός περιθλασίμετρου ακτί-



περιπλανώ-
μενη

↑ παραβάν
Screens for
stray
x-rays or electrons

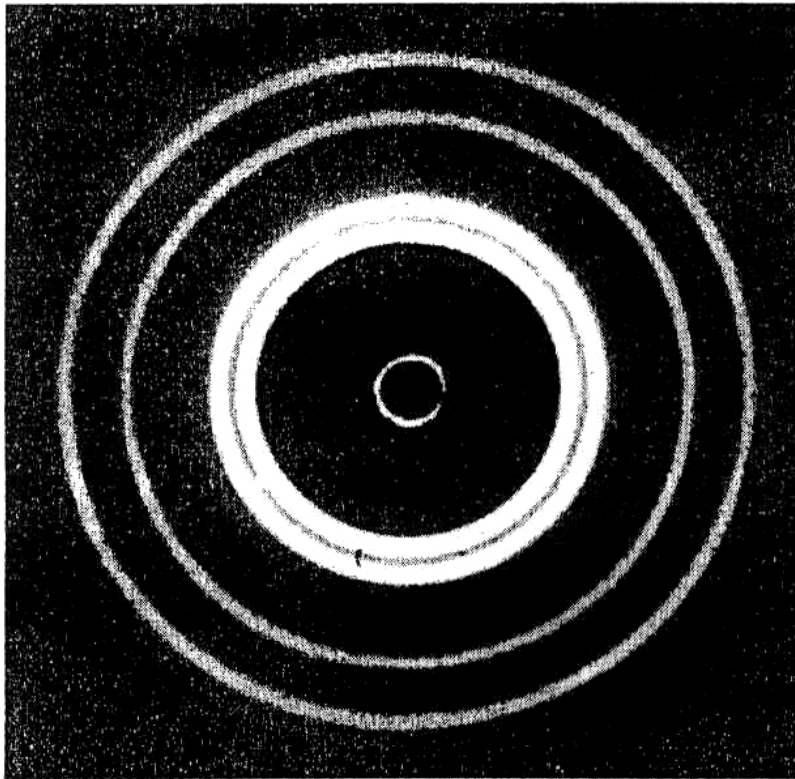
↑
σκέβια, εἰσόνη

↑ χαρακτηριστικὸ

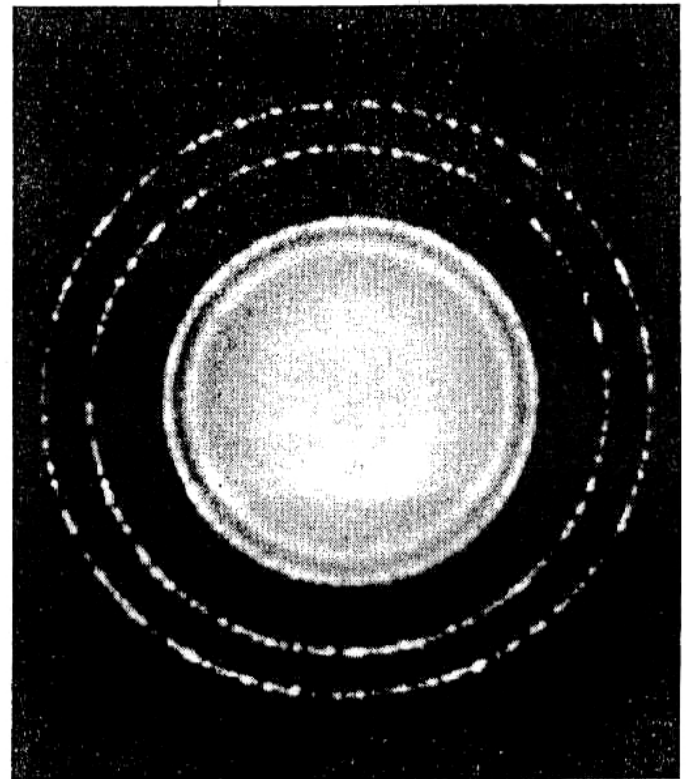
Similar patterns shown by light, x-rays, and electrons as each is diffracted. Diffraction is the bending and spreading of wave motion around edges. The effect is prominent when the wavelength is large compared to the size of the obstacle and small when the wavelength is short compared to the size of the obstacle. Similar effects from light, x-rays, and electrons indicate a common property to all: each has a wave nature.

↑
περιπλανώμενη

↑
εἰσόνη



(a)



(b)

(a) X-ray diffraction pattern of aluminum foil. (b) Electron diffraction pattern of aluminum foil. The similarity of these two patterns shows that electrons can behave like X rays and display wavelike properties. (*Education Development Center, Newton, MA.*)



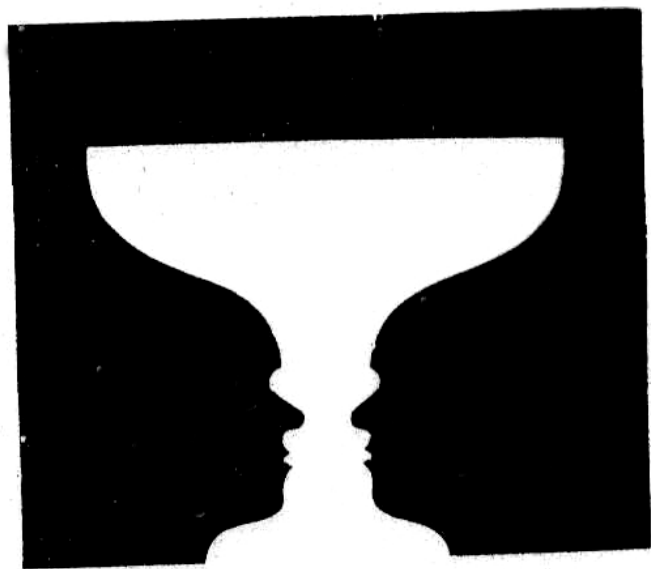
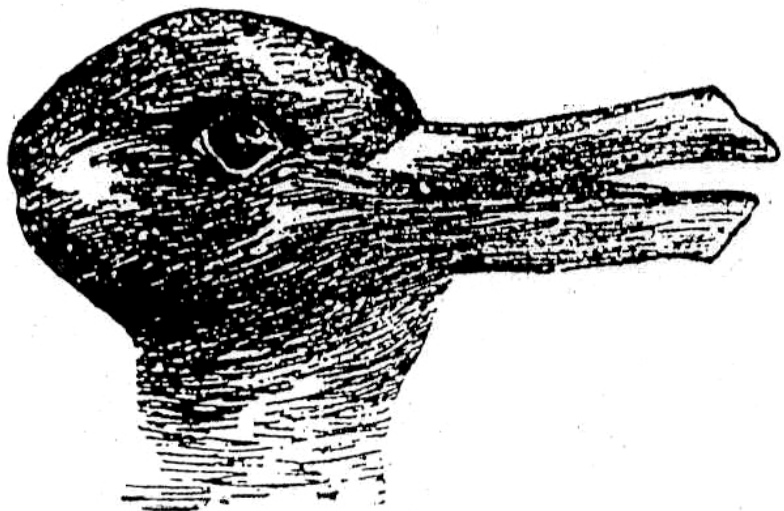
Louis de Broglie (1892-1987)
Γάλλος, γόνος αριστοκρατικής οικογένειας με πρώτο πτυχίο στην ιστορία. Αργότερα ακολούθησε τα βήματα του μεγαλύτερου του αδελφού Maurice, ο οποίος ήταν διακεκριμένος φυσικός εργαζόμενος στο οικογενειακό εργαστήριο του μεγάρου του. Η διδακτορική του διατριβή περιείχε την ουσία των ιδεών του για τα υλικά κύματα. Για την εργασία του αυτή τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ φυσικής το 1929. Ωστόσο, οι ιδέες του δεν έγιναν αποδεκτές από την αρχή. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η εξεταστική επιτροπή αναγκάστηκε να ζητήσει τη βοήθεια ειδικών προκειμένου να αποφασίσει αν θα κάνει αποδεκτή τη διδακτορική διατριβή του. Ο Schrödinger πήρε στην αρχή αρνητική θέση «είναι ένα σκουπίδι», είχε αποφανθεί. Όμως, ο Einstein έδωσε θετική γνώμη και έτσι ο de Broglie πήρε το διδακτορικό του.

• Στα φωτόνια πρώτα ανακαλύφθηκε η κυματική φύση και μετά η σωματιδιακή. Στα ηλεκτρόνια είχαμε την αντίθετη σειρά. Εξαιτίας αυτής της ιστορικής σειράς των γεγονότων πολλοί εξακολουθούν να πιστεύουν ότι το φως αποτελείται από κύματα και ότι τα ηλεκτρόνια είναι μικροσκοπικά σώματα. Η εικόνα αυτή είναι ατελής, αφού και στις δύο περιπτώσεις έχουμε κυματοσωματίδια.



Η διπλή φύση εκφρασμένη στο πρόσωπο μιας νέας και μιας ηλικιωμένης κυρίας.





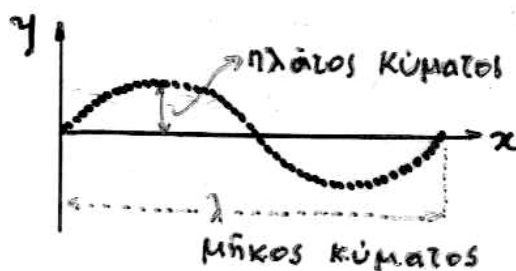
Υλικό σωματίδιο μάζας m που κινείται με ταχύτητα v
"έχει" ΚΥΜΑΤΙΚΗ φύση:

Το μήκος κύματος λ δίδεται από τη σχέση

$$(1924) \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad h = \text{σταθερά Planck}$$

LOUIS DE BROGLIE (1892-1987)

Άρμονικό κύμα



Κυματική κίνηση:
$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} \right)$$

$$\Psi = A \eta \mu 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - vt \right)$$

Ψ = πλάτος σε χρόνο t και θέση x

A = σταθερά, λ = μήκος κύματος, ν = συχνότητα

c = ταχύτητα διαδόσεως κύματος

$E \sim \Psi^2 \Rightarrow$ Η από το κύμα μεταφερομένη ένέργεια
είναι ανάλογος του τετραγώνου
του πλάτους του κύματος.

Κυματική κίνηση σε 3 διαστάσεις

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \right)$$

Στάσιμο κύμα

Συμβολή δύο κυμάτων του αΐσου μήκους
κύματος και πλάτους άλλω αντίθετου φοράς.

$$\Psi = 2A \eta \mu \frac{2\pi x}{\lambda} \cos 2\pi \nu t$$

Κατά De BROGLIE πρέπει στο άτομο να υπάρχουν ηλεκτρονικά κύματα. Το ηλεκτρόνιο τότε μόνο βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση. \Rightarrow Το ηλεκτρονικό κύμα είναι ΧΡΟΝΙΚΑ ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΟ.

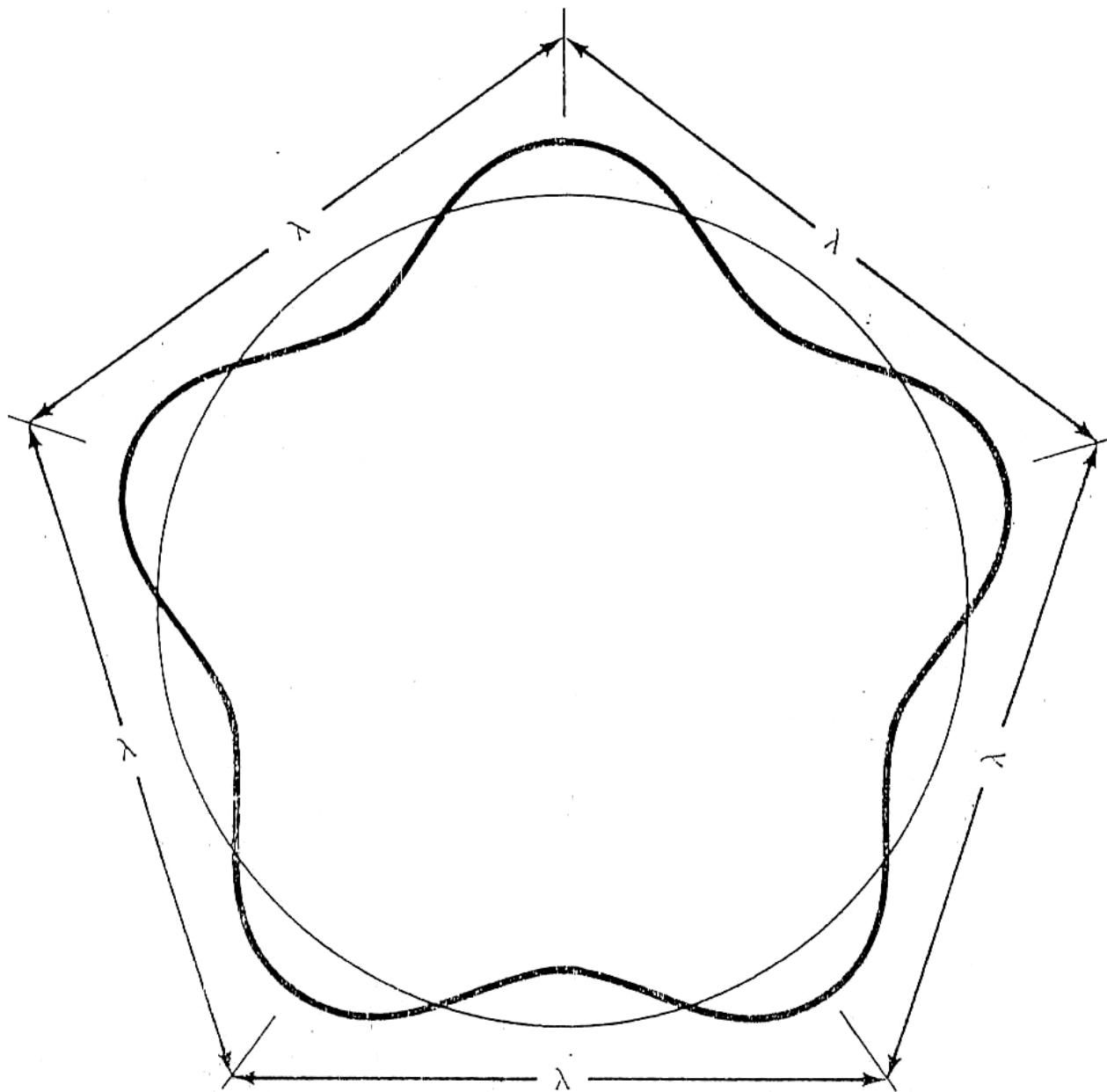


Δέν προχωρεί \Rightarrow ΣΤΑΣΙΜΟ ΚΥΜΑ

Στάσιμα κύματα μπορούν να σχηματιστούν σε μία τροχιά Bohr μόνο όταν η περιφέρεια της τροχιάς είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος

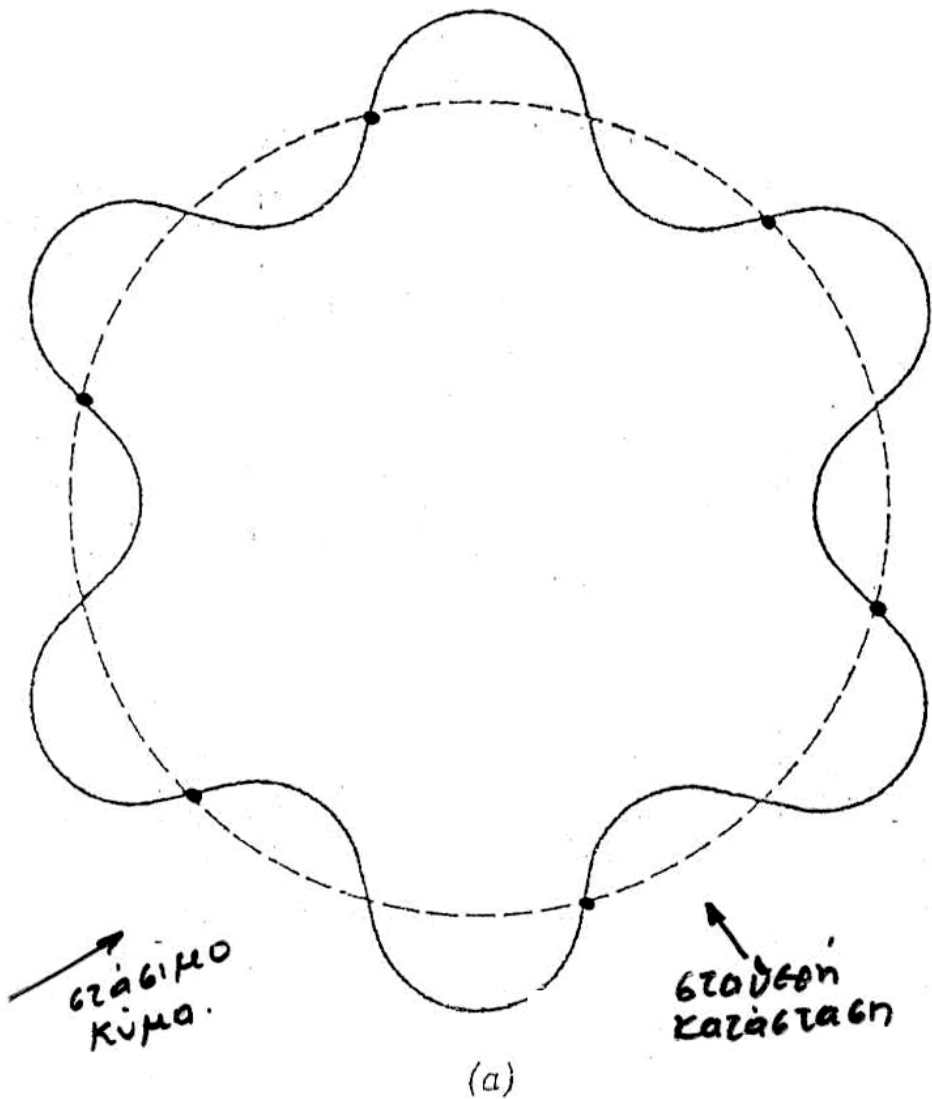
$$2\pi r = n \cdot \lambda \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

$$\text{αν } \lambda = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow 2\pi r = n \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow m \cdot v \cdot r = n \frac{h}{2\pi}$$

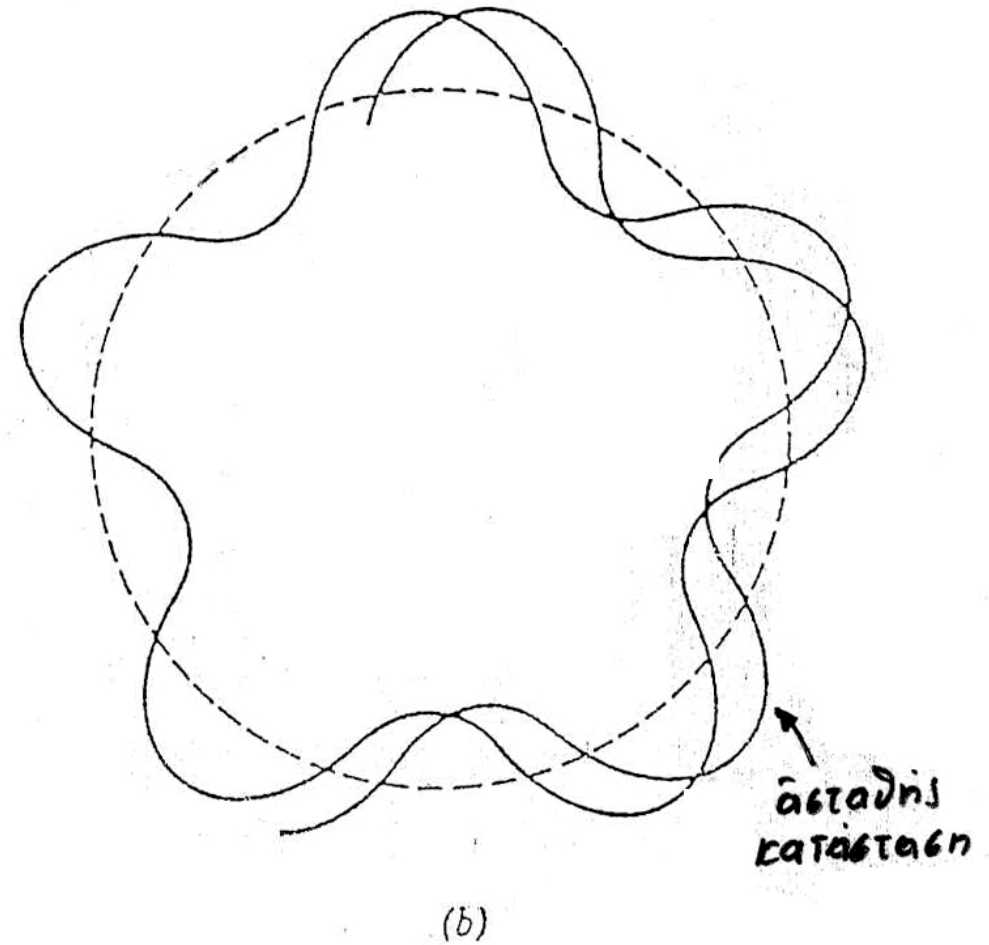


$$2\pi r = n\lambda$$

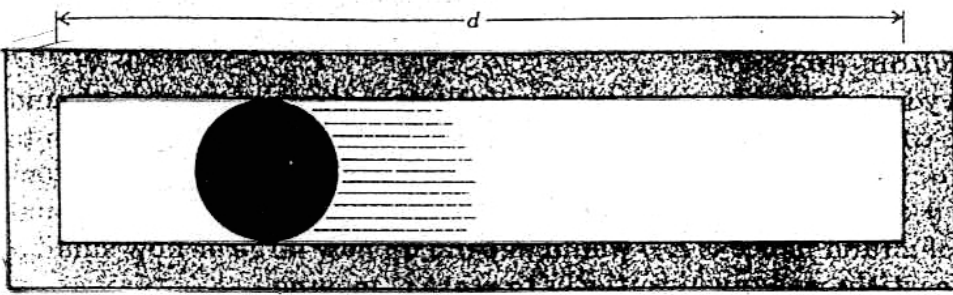
A standing electron wave with $n = 5$.



$$2\pi r = n\lambda$$

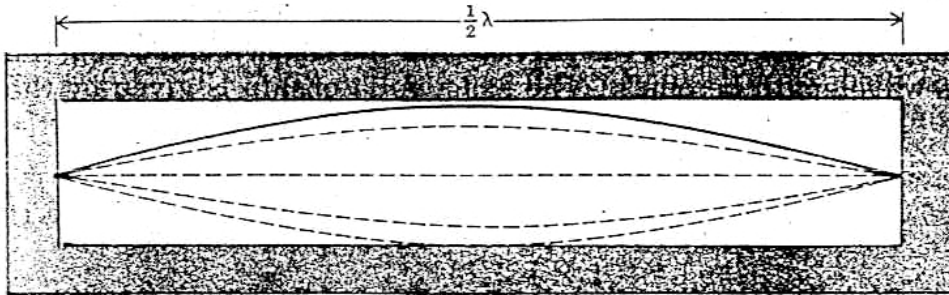


(a) Constructive interference of de Broglie waves in an atom distinguishes the allowed stable Bohr orbits. (b) Destructive interference of de Broglie waves in an atom disallows any orbit which fails to satisfy the quantum conditions.



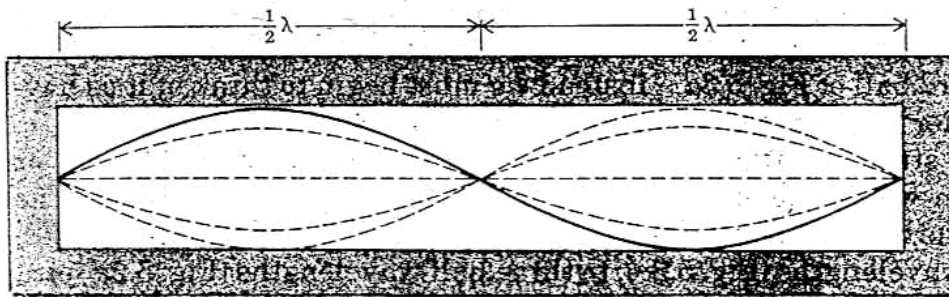
$$d = n \frac{\lambda}{2}$$

(a)



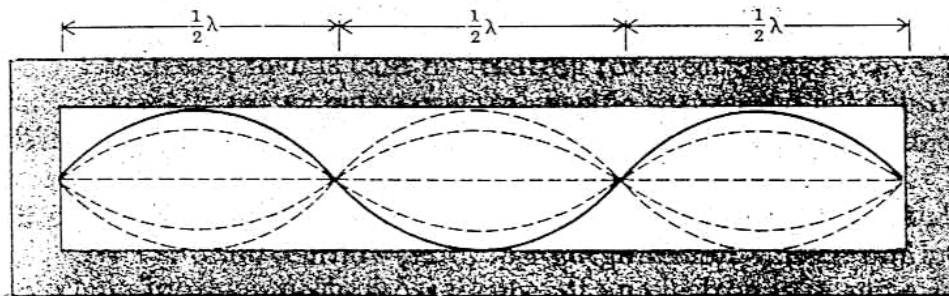
$$\frac{1}{2}\lambda = d$$

(b)



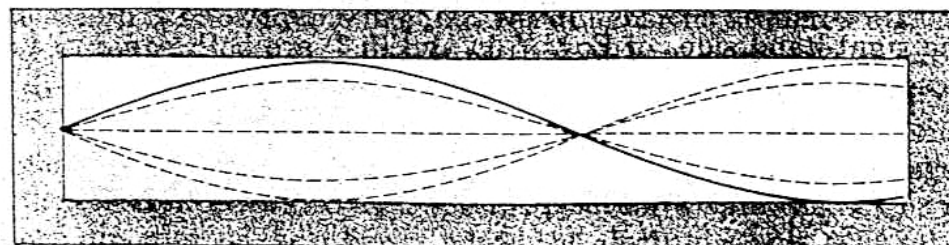
$$\frac{2}{2}\lambda = d$$

(c)



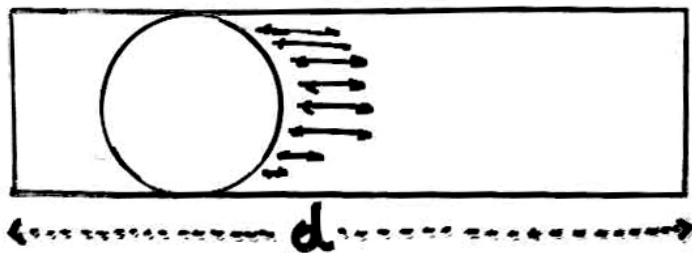
$$\frac{3}{2}\lambda = d$$

(d)



(e)

A microscopic particle in a one-dimensional box of length d . (a) Analogy with a macroscopic billiard ball; (b), (c), and (d), analogy with waves in a vibrating guitar string; (e) an example of a wave which would not fit the box. The right-hand end would move up and down instead of remaining fixed as in parts (b), (c), and (d).



$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{mv} \quad (1)$$

Για να δημιουργηθεί ΜΟΝΙΜΟ ΣΤΑΣΙΜΟ κύμα θα πρέπει:

$$d = n \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{Από (1) και (2)} \Rightarrow 2 \frac{d}{n} = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow v = \frac{nh}{2md} \quad (3)$$

$$E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} mv^2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Από (3) και (4)} \Rightarrow E_{\text{κιν}} &= \frac{1}{2} m \left(\frac{nh}{2md} \right)^2 = \\ &= n^2 \left(\frac{h^2}{8md^2} \right) \end{aligned}$$

Για "τριδιάστατο" κιβώτιο:

$$E_{\text{κιν}} = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{n_x^2}{d_x^2} + \frac{n_y^2}{d_y^2} + \frac{n_z^2}{d_z^2} \right)$$

$$\text{Av } d_x^2 = d_y^2 = d_z^2 = a^2$$



$$E_{\text{κιν}} = \frac{h^2}{8ma^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

$$\text{δηλ } n_x, n_y, n_z = 1, 2, 3, \dots$$

βυνδιασμοί.-

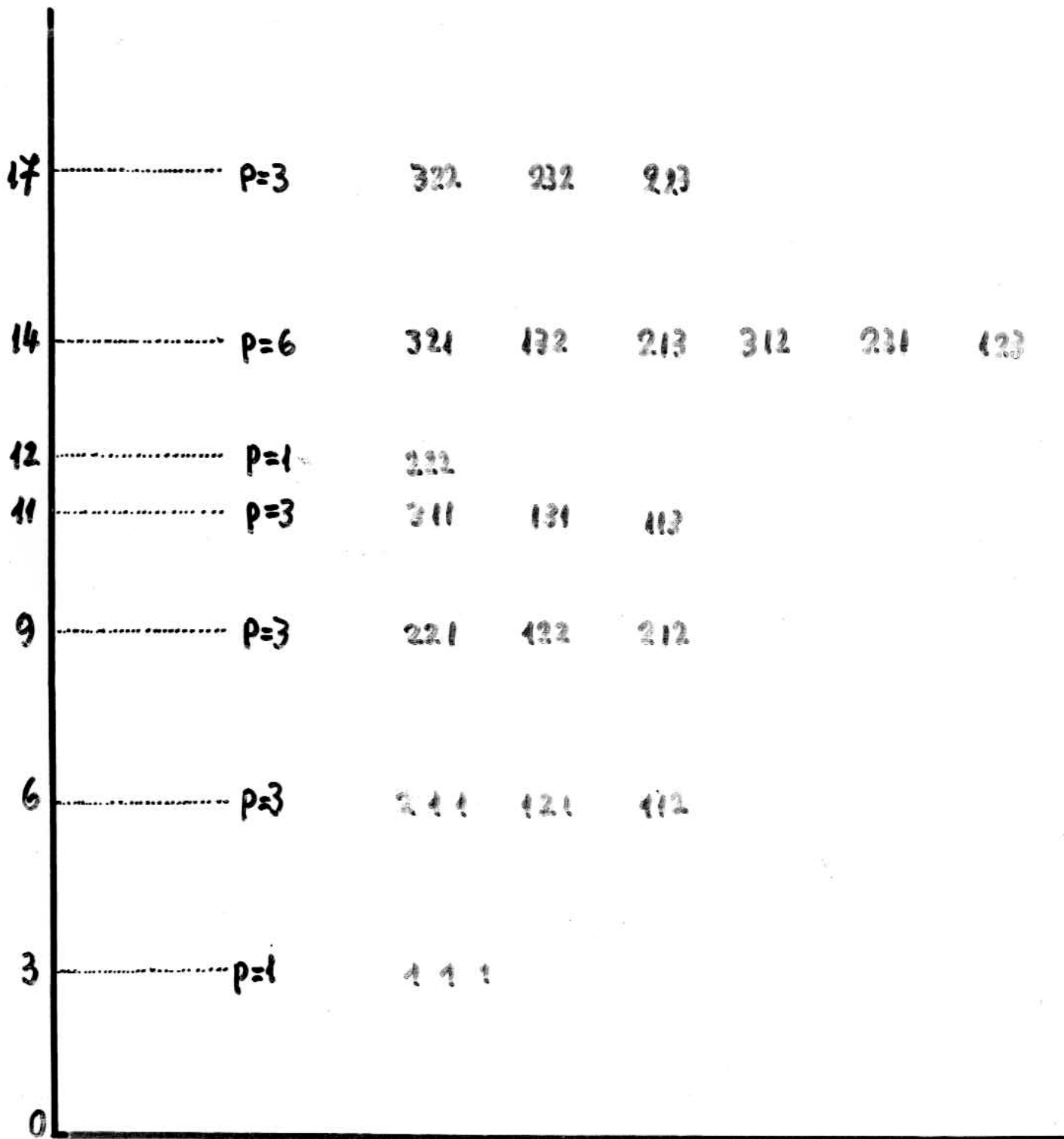
π.χ. Η χαμηλότερη ενέργεια επιτυγχάνεται με το βυνδιασμό $n_x=1, n_y=1, n_z=1$

$$E_{\text{κιν}} = \frac{3h^2}{8ma^2} = \frac{3\hbar^2 \pi^2}{2ma^2}$$

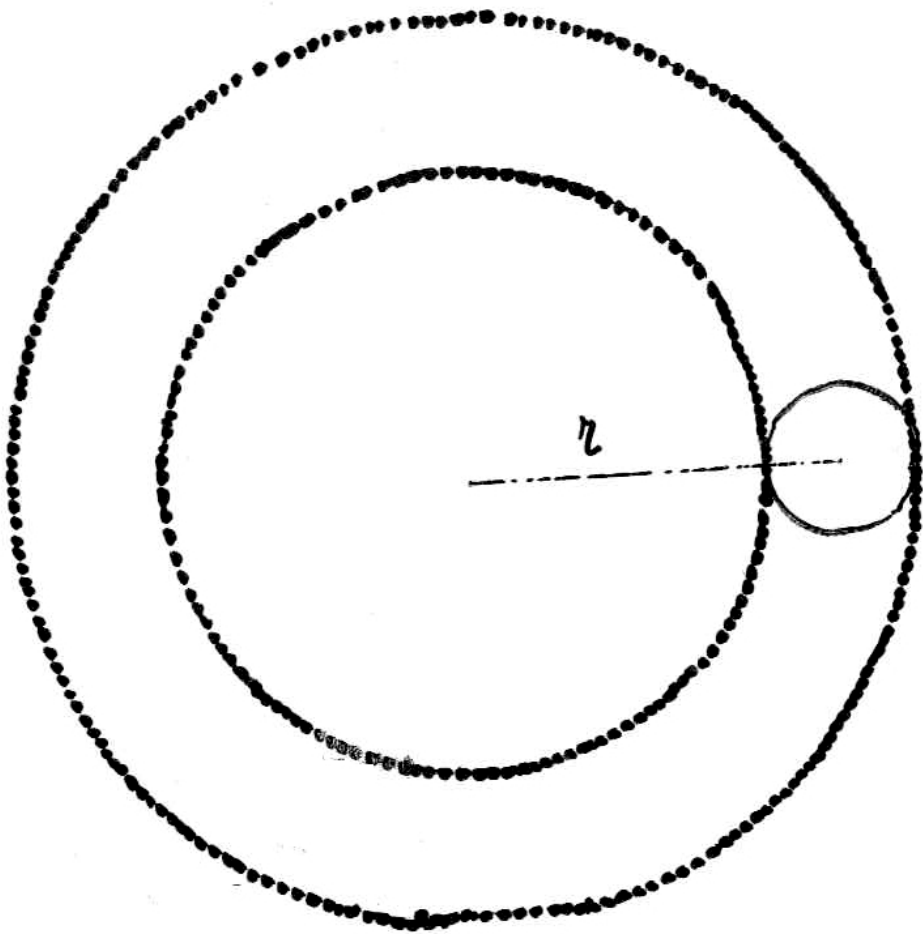
- ο επόμενος βυνδιασμός - ενεργειακό επίπεδο

2, 1, 1 / ή 1, 2, 1 / ή 1, 1, 2 και αντίστοιχη
 στην ΙΔΙΑ ενέργεια (τριπλά εκφυλισμένη)

$$E_{\text{κιν}} = \frac{6h^2}{8ma^2} = \frac{6\hbar^2 \pi^2}{2ma^2}$$



$p = \text{πολλαπλασιασμοι}$



$$2\pi r = n\lambda \quad \lambda = \frac{h}{mv}$$

$$2\pi r = n \frac{h}{mv} \Rightarrow v = n \frac{h}{2\pi m r}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \left(n \frac{h}{2\pi m r} \right)^2$$

$$E_{\text{kin}} = n^2 \left(\frac{h^2}{8m\pi^2 r^2} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$



Ervin Schrödinger (1887-1961)

Αυστριακός φυσικός, ο οποίος διαδέχτηκε τον καθηγητή Planck στο πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Το Νοέμβριο του 1925, στη διάρκεια μια διάλεξης που έδωσε στη Ζυρίχη με θέμα την κυματική φύση των ηλεκτρονίων, ο διάσημος φυσικός Debye τον έφερε σε δύσκολη θέση: «Αφού μιλάτε για κύματα ηλεκτρονίων, τότε ποια είναι η κυματική εξίσωση;» Λίγους μήνες αργότερα, στην επόμενη του διάλεξη, ο Schrödinger ανακοίνωσε την ομώνυμη κυματική εξίσωση. Η κυματική αυτή εξίσωση περιγράφει με επιτυχία την κίνηση των μικρών σωματιδίων. Για την εργασία του αυτή τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 1933.