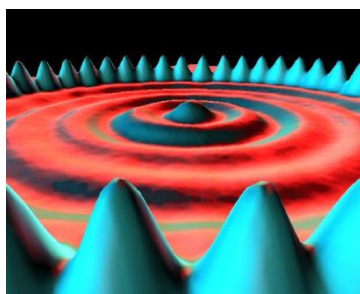




Γέφυρα μεταξύ της έρευνας στη σύγχρονη φυσική
και της επιχειρηματικότητας στον τομέα της νανοτεχνολογίας

Κβαντοφυσική

*Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων
με τις μεγάλες εφαρμογές*



ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



Lifelong
Learning
Programme

Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia, Erica Andreotti

Επαφή: renaat.frans@khlim.be

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν

Πηγή της φωτογραφίας εξωφύλλου:

*M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler. **Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface.** Science 262, 218-220 (1993). Οι Crommie, Lutz and Eigler εργάζονταν στο τμήμα ερευνών της IBM, Ερευνητικό Κέντρο Almaden, Σαν Χοσέ, Καλιφόρνια, ΗΠΑ*



Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0)

Υπό τους ακόλουθους όρους:

- Αναφορά στον δημιουργό — Πρέπει να κάνετε [κατάλληλη μνεία](#), να παρέχετε σύνδεσμο στην άδεια και [να δηλώνετε τυχόν τροποποιήσεις](#). Αυτό μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, χωρίς όμως να υπονοείται ότι ο αδειοδότης εγκρίνει εσάς ή τη χρήση σας.
- Μη-εμπορική — Δεν επιτρέπεται η χρήση του υλικού για [εμπορικούς σκοπούς](#).

Μπορείτε να:

- Μοιραστείτε - να αντιγράψετε και να αναδιανείμετε το υλικό με οποιοδήποτε μέσο ή μορφή
 - Προσαρμόσετε - να αναμίξετε, να τροποποιήσετε και να δημιουργήσετε πάνω στο υλικό
- Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Αναφορά στο έργο πρέπει να γίνεται ως εξής:

Frans R., Tamassia L., Andreotti E. (2015) Quantum SpinOff Learning Stations. Art of Teaching, UCLL, Diepenbeek, Βέλγιο

Εισαγωγή στο 1^ο Μέρος: Γιατί Κβαντική Φυσική;

Στο 1^ο μέρος των σταθμών μάθησης θα διερευνήσουμε την προέλευση της κβαντικής φυσικής, ξεκινώντας με τα φαινόμενα που η κλασσική φυσική δεν μπορούσε να εξηγήσει. Βήμα-βήμα προσπαθούμε να κατανοήσουμε αυτά τα φαινόμενα ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά. Στους σταθμούς μάθησης βρίσκουμε τόσο κλασσικές όσο και κβαντικές έννοιες, οι οποίες παρουσιάζονται παράλληλα, προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα την ουσιαστική συμβολή της κβαντικής φυσικής για την κατανόηση του σύμπαντος. Επειδή οι κλασσικές και οι κβαντικές έννοιες εναλλάσσονται η μία με την άλλη μέσα από τους σταθμούς μάθησης, όπως οι κλασσικές έννοιες είναι απαραίτητες για να κατανοήσουμε σε βάθος τον κβαντικό κόσμο, προτείνουμε στο τέλος του κάθε κεφαλαίου την περίληψη των κύριων εννοιών κλασσικής και κβαντικής φυσικής με τη μορφή μιας άσκησης: Αυτή είναι μια ευκαιρία για το μαθητή να εντοπίσει τους δύο «τύπους» των εννοιών και να έχει τελική επισκόπηση του υπο μελέτη υλικού.

Προτού ξεκινήσουμε να εργαζόμαστε με τους σταθμούς μάθησης, προτείνουμε παρακάτω μια επισκόπηση του περιεχομένου του καθενός απ' αυτούς. Αυτή η διαδικασία θα αποκρυσταλλώσει την εκπαιδευτική διαδρομή και θα βοηθήσει στην παρακολούθηση των στόχων καθώς και το σημείο από το οποίο ξεκινήσαμε.

Μαθησιακός Σταθμός I: Ανεξήγητα φαινόμενα στην κλασσική φυσική;

Το ταξίδι μας ξεκινά με το πείραμα της διπλής σχισμής για τα ηλεκτρόνια: τα μικρά "σωματίδια" έχουν μια συγκεκριμένη τροχιά, όπως προβλέπεται από την κλασσική φυσική; Μπορούμε να εξηγήσουμε αυτό που παρατηρούμε θεωρώντας τα ηλεκτρόνια ως πολύ μικρά σωματίδια; Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του πειράματος διπλής σχισμής με άμμο, ηλεκτρόνια και φως και θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τη φύση της ύλης και του φωτός: μπορούμε ακόμα να διαχωρίσουμε με σαφήνεια τον κόσμο σε κύματα και σε σωματιδιακή συμπεριφορά; Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τα χαρακτηριστικά των μορίων, τα οποία είναι ανεξήγητα μέχρι σήμερα από την κλασσική φυσική. Θα εξετάσουμε την φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των στοιχείων και θα διερευνήσουμε κατά πόσον μπορούν να εξηγηθούν από το κλασσικό ατομικό μοντέλο του Rutherford ή χρειαζόμαστε κβαντικές έννοιες.

Μαθησιακός Σταθμός II: Τι είναι το φως;

Στον δεύτερο μαθησιακό σταθμό ξεκινάμε από τα παρατηρούμενα αποτελέσματα του πειράματος διπλής οπής και εστιάζουμε στην φύση του φωτός. Η κατανόηση της συμπεριφοράς του φωτός θα μας βοηθήσει πραγματικά να κατανοήσουμε περεταίρω την συμπεριφορά όλων των «σωματιδίων» καθώς και τις παρατηρήσεις που σημειώσαμε στον πρώτο μαθησιακό σταθμό. Η βασική ερώτηση εδώ είναι η εξής: μπορεί η συμπεριφορά του φωτός να εξηγηθεί θεωρώντας το μια δέσμη σωματιδίων ή ένα κύμα; Γι' αυτή την διερεύνηση θα χρησιμοποιήσουμε κλασσική φυσική και θα ανατρέξουμε στην ιστορία των θεωριών για το φως.

Μαθησιακός Σταθμός III: Τι ταλαντώνεται με το φως;

Όταν το φως θεωρείται ότι έχει κυματική φύση, πρέπει να διερευνήσουμε τι είναι αυτό που ταλαντώνεται και διαδίδεται στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Θα εκτελέσουμε αυτήν την μελέτη χρησιμοποιώντας επιχειρήματα κλασσικής φυσικής και συγκρίνοντας το φως με μηχανικά κύματα. Θα ασχοληθούμε επίσης με την έννοια του «πεδίου» στην κλασσική φυσική, μία έννοια «κλειδί» η οποία χρησιμοποιείται επίσης αργότερα στην κατανόησή μας για την κβαντική φυσική.

Μαθησιακός Σταθμός IV: Δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου.

Στους προηγούμενους σταθμούς μάθησης διερευνήσαμε τις ιδιότητες του φωτός, ως κύμα, χρησιμοποιώντας κλασσική φυσική επομένως τώρα είναι κατάλληλη η στιγμή για να κάνουμε ένα βήμα παρακάτω στην κβαντική φύση του φωτός. Τι συμβαίνει αν εκτελέσουμε το πείραμα διπλής οπής για φως χαμηλής έντασης; Συνεχίζει το φως να συμπεριφέρεται σαν κύμα; Ή μήπως

φαίνεται να έχει και σωματιδιακές ιδιότητες; Σε αυτόν τον μαθησιακό σταθμό θα υπολογίσουμε την ενέργεια ενός κβάντου φωτός χρησιμοποιώντας την σχέση των Planck- Einstein. Παράλληλα, θα χρησιμοποιήσουμε την υπόθεση του De Broglie για να υπολογίσουμε το μήκος κύματος ενός σωματιδίου. Με αυτόν τον τρόπο θα ανακαλύψουμε ότι ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό του φωτός και της ύλης.

Μαθησιακός Σταθμός V: Πρόβλεψη των γραμμών εκπομπής του υδρογόνου χρησιμοποιώντας ένα κβαντικό μοντέλο.

Σε αυτό το σημείο της διαδρομής μας έχουμε πλέον τις γνώσεις των βασικών εννοιών οι οποίες χρειάζονται για να εξηγηθεί μια σειρά φαινομένων ακατανόητων από την κλασσική φυσική. Θα επανέλθουμε στα διακριτά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των στοιχείων και θα χρησιμοποιήσουμε την γνώση που αποκτήθηκε, όχι μόνο για να τα εξηγήσουμε, αλλά και για να υπολογίσουμε τις συχνότητες των γραμμών εκπομπής του υδρογόνου.

Μπορείτε να βρείτε σχηματικές εννοιολογικές δομές κάθε μαθησιακού σταθμού στην παρακάτω ιστοσελίδα: www.quantumspinoff.eu

Σας ευχόμαστε να απολαύσετε την ανακαλυπτική σας διαδρομή μέσα από τη φυσική του πολύ μικρού με τις μεγάλες εφαρμογές.

Πίνακας Περιεχομένων

Μέρος 1: Γιατί Κβαντοφυσική;

ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ Ι: ΑΝΕΞΗΓΗΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ;	8
1 Το τέλος της κλασσικής μηχανικής.	8
2 Η απώλεια της έννοιας της τροχιάς: το πείραμα της διπλής σχισμής	9
2.α Το πείραμα της διπλής οπής με άμμο	9
2.β Μέσω ποιας σχισμής θα περάσει το ηλεκτρόνιο;	10
2.β Το πείραμα της διπλής σχισμής για κύματα	11
2.γ Το πείραμα της διπλής σχισμής για μόρια μεγάλου μεγέθους	12
2.δ Το πείραμα της διπλής σχισμής με φως	14
3 Φάσματα των χημικών ουσιών	16
3.α Τυπικά χρώματα ενός χημικού στοιχείου	16
3.β Διακριτές γραμμές εκπομπής των ατόμων	17
3.γ Διακριτές γραμμές απορρόφησης	19
4 Εξηγώντας τις διακριτές φασματικές γραμμές;	
4.α Επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια σε άτομα, πηγές φωτός;	20
4.β Εξηγείται η εκπομπή του φωτός από το κλασσικό ατομικό μοντέλο του Rutherford;	21
4.γ Η κατάρρευση του μοντέλου του Rutherford.	22
5 Έννοιες του πρώτου μαθησιακού σταθμού	24



Quantum Spin Off

Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων με τις μεγάλες εφαρμογές

Μέρος 1 Γιατί Κβαντοφυσική

Ποιος το παρήγγειλε;



Μαθησιακός σταθμός I: Ανεξήγητα φαινόμενα;

1 Το τέλος της κλασσικής μηχανικής

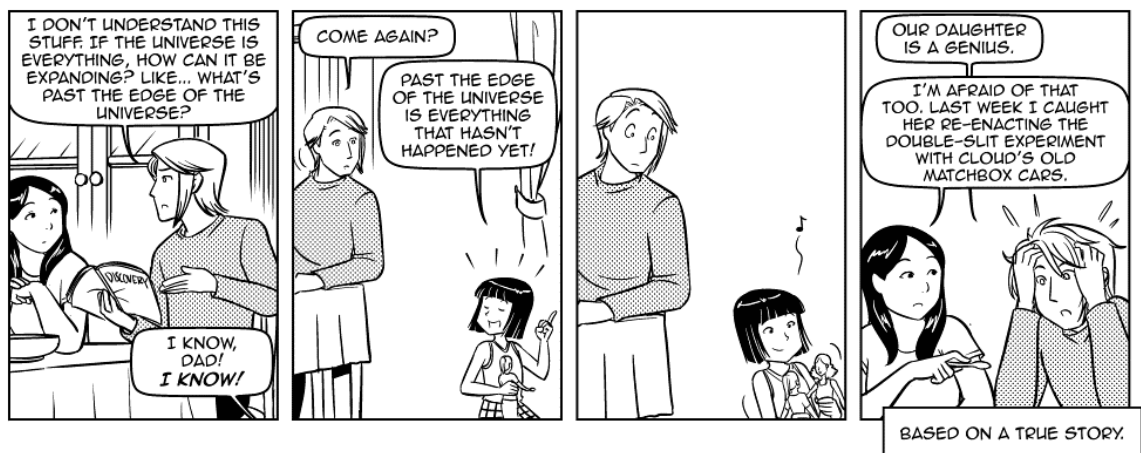
Αν κλωτσήσετε μια μπάλα, περιμένετε αυτή να ακολουθήσει μια ακριβή τροχιά δεδομένης της αρχικής της θέσης, της μάζας της και της δύναμης που ασκείται πάνω της. Με τον τρόπο αυτό εκτοξεύουμε και έναν πύραυλο από την γή στο διάστημα.

Στην κλασσική μηχανική, αν γνωρίζετε την αρχική θέση, ταχύτητα και τις δυνάμεις που ασκούνται σε μία μάζα, μπορείτε να προβλέψετε την τροχιά της.



Η πρόβλεψη της τροχιάς με βάση τις αρχικές συνθήκες και δυνάμεις, απορρέει από τη μηχανική του Νεύτωνα όπως τη διατύπωσε το έργο του "Principia Mathematica Philosophae Naturalis".

Μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η αποκαλούμενη Κλασσική Νευτώνεια Μηχανική, ήταν αδιαμφισβήτητη η βάση όλης της φυσικής. Όταν όμως οι φυσικοί διερεύνησαν τον κόσμο σε μικροσκοπικές κλίμακες, άρχισε να γίνεται ολοένα και πιο ξεκάθαρο ότι οι τροχιές που παρατηρούμε σε μακροσκοπικές κλίμακες, δεν είναι πραγματικά υπαρκτές. Είναι μια πρακτική προσέγγιση μιας πιο θεμελιώδους μηχανικής, της κβαντικής μηχανικής, στην οποία τα σωματίδια δεν έχουν καθορισμένες τροχιές.



Εικόνα 1 Αμάξια από σπιρτόκουτα και κβαντική φυσική
(Πηγή: Sandra and Woo comic strip by Knörzer and Powree published under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 License.)

Ας προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε, όπως και η Sandra, τι πραγματικά συμβαίνει εδώ. Το ενδεικνυόμενο πείραμα για να δείξουμε τι εννοούμε είναι το περίφημο πείραμα της διπλής οπής. Ο ιδιοφυής Αμερικάνος Φυσικός Richard Feynman περιέγραψε το πείραμα της διπλής οπής για ηλεκτρόνια ως ένα φαινόμενο το οποίο 'εμπεριέχει την καρδιά της κβαντικής μηχανικής. Στην πραγματικότητα, περιέχει μόνο μυστήριο'. Ας ρίξουμε μια ματιά σε αυτό:

Κλασική μηχανική:

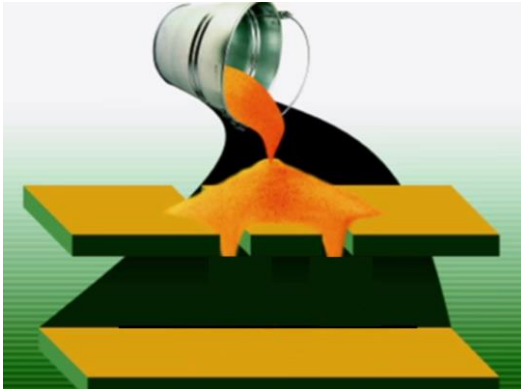
Με δεδομένα την αρχική θέση, την αρχική ταχύτητα και τις δυνάμεις που επενεργούν σε μια μάζα



Μπορείτε να προβλέψετε την τροχιά της μάζας

2 Η απώλεια της έννοιας της τροχιάς: το πείραμα της διπλής σχισμής

2.a Το πείραμα της διπλής οπής με άμμο



Πριν εκτελέσουμε το πείραμα διπλής οπής με ηλεκτρόνια, ας δοκιμάσουμε ένα με άμμο. Έχουμε 2 οπές σε ένα οριζόντιο άνω πέτασμα μέσα από το οποίο χύνουμε άμμο. Τι θα δείτε στο κάτω πέτασμα;

Ζωγραφίστε τις προβλέψεις σας!

Εικόνα 2 Πείραμα διπλής οπής με άμμο (Προσαρμόστηκε από την διάλεξη του Καθηγητή Jim Al-Khalili στο Βασιλικό Ινστιτούτο: <https://www.youtube.com/watch?v=A9tKncAdlHO>)

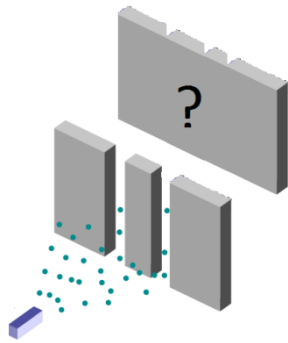
Ήταν η διαδρομή του κάθε κόκκου άμμου καθορισμένη μέσα από τις σχισμές;
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Μπορείτε να πείτε ότι κάθε κόκκος άμμου ακολούθησε μια καθορισμένη τροχιά;
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Είναι το αποτέλεσμα που παρατηρείτε στον πέτασμα απόρροια όλων των μεμονομένων τροχιών των κόκκων;
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)

2.b Από ποια σχισμή θα διέλθουν τα ηλεκτρόνια;

Ας δούμε τώρα την περίπτωση των ηλεκτρονίων. Όταν εκτοξεύετε ηλεκτρόνια σε έναν στόχο με 2 λεπτές οπές κοντά η μία στην άλλη, τι περιμένετε να δείτε σε μια οθόνη πίσω από τις οπές;



Σχήμα 3 Σχηματική αναπαράσταση του πειράματος της διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια (Πηγή: Διασκευασμένο από το Υλικό που είναι Κοινό Κτήμα της Wikipedia)

παράδειγμα, μπορείτε να σκεφτείτε τα κλασικά ηλεκτρόνια σαν μικροσκοπικές στάλες μελανιού που εκτοξεύονται από έναν ψεκαστήρα. Αν ψεκάσετε μπογιά σε ένα φύλλο χαρτιού με δύο οπές και κρατήσετε ένα πέτασμα από πίσω, ποιο θα ήταν το σχέδιο που θα δημιουργούταν πάνω στο πέτασμα; Φτιάξτε μια ζωγραφιά του πειράματος και φροντίστε να φαίνεται πολύ καθαρά το σχέδιο πάνω στο πέτασμα.



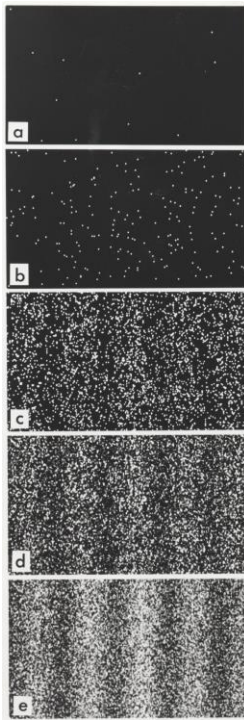
Το κλασικό αναμενόμενο μοτίβο που προκύπτει από το πείραμα της διπλής σχισμής για ηλεκτρόνια

Οι ερευνητές των Hitachi Labs κατάφεραν να διεξάγουν το πείραμα της διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια εκτοξεύοντας ένα ηλεκτρόνιο τη φορά και καταγράφοντας τη στιγμή που φτάνει στο πέτασμα. Ο τρόπος που το σχέδιο σχηματίζεται σιγά-σιγά πάνω στο πέτασμα φαίνεται στη σειρά των εικόνων στο παρακάτω σχήμα και το βίντεο: www.youtube.com/watch?v=oxknfn97vFE

Κοιτάξτε το συγκεκριμένο μοτίβο που τα ηλεκτρόνια δημιουργούν πάνω στο πέτασμα: φαίνεται ξεκάθαρα ότι σε ορισμένα σημεία φθάνουν περισσότερα ηλεκτρόνια από ό,τι σε άλλα. Συγκρίνετε το τελικό σχήμα που πέτυχαν οι ερευνητές με αυτό που προβλέπατε ότι θα σχηματιστεί βάσει της κλασικής μηχανικής: πρόκειται για το ίδιο σχήμα;

(Ναι / Όχι)

Αφού έχετε δει τα αποτελέσματα του πραγματικού πειράματος, μπορείτε ακόμα να ισχυριστείτε ότι κάποιο συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο περνά μέσα από τη μία ή την άλλη σχισμή;



(Ναι / Όχι)

Μπορούμε ακόμα να κάνουμε λόγο για τροχιά ηλεκτρονίου, αν δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι το ηλεκτρόνιο έχει περάσει μέσα από τη μία ή την άλλη σχισμή;

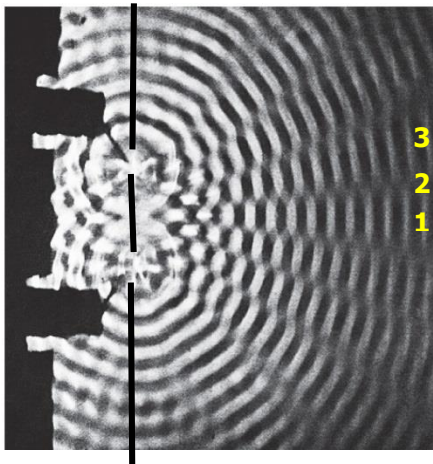
(Ναι / Όχι)

Οι έννοιες της ακριβούς τροχιάς και θέσης φαίνεται να εξαφανίζονται. Η κλασική μηχανική δεν αρκεί. Παρακολουθήστε επίσης τα κινούμενα σχέδια του dr. Quantum¹: www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc

Σχήμα 4 Σχηματισμός του μοτίβου στο πέτασμα κατά το πείραμα της διπλής σχισμής για ηλεκτρόνια. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ανιχνεύτηκαν είναι 100 (b), 3000 (c), 20000 (d), 70000 (e). (Πηγή: Tonomura, A., Endo, J., Matsuda, T., και Kawasaki, T. (1989) *Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern*, *American Journal of Physics* 57 (2), 117–120)

Τα ηλεκτρόνια φτάνουν ένα ένα πάνω στην οθόνη, αλλά δεν μπορείτε να καταλάβετε από ποια σχισμή πέρασαν. Δεν είναι πλέον τα ηλεκτρόνια σωματίδια λοιπόν;

2.c Το πείραμα της διπλής σχισμής για κύματα



Ας ρίξουμε μια ματιά στο πείραμα της διπλής σχισμής για υδάτινα κύματα στην κλασική μηχανική: (βλ. εικόνα). Οι κορυφές των κυμάτων εμφανίζονται ανοιχτόχρωμα, τα κοίλα σκούρα και οι επίπεδες επιφάνειες γκρι.

Σχήμα 5 Συμβολή υδάτινων κυμάτων (Πηγή: *PSSC Physics Haber-Schaim, Dodge, Gardner, Shore. Kendall/Hunt, 1991.*)

¹ Το βίντεο του dr. Quantum δείχνει το ηλεκτρόνιο που "διασπάται" μπροστά από τις σχισμές: αυτό όμως δεν είναι αλήθεια, σύμφωνα με την κβαντοφυσική! Δεν είναι ύλη αυτή η οποία διασπάται μπροστά από τις σχισμές, αλλά το κύμα του ηλεκτρονίου το οποίο διέρχεται και από τις δύο σχισμές και συμβάλλει με τον εαυτό του. Θα επανέλθουμε σε αυτό αργότερα.

Υπάρχουν περιοχές οι οποίες δεν έχουν υποστεί καμία διαταραχή; (ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Πού βλέπετε κορυφές και πού κοιλία; Γράψτε τον αριθμό που αντιστοιχεί στην περιοχή/ στις περιοχές:.....

Πού βλέπετε επίπεδες περιοχές;

Το διαμόρφωμα κροσσών με κυματικούς κροσσούς σε συγκεκριμένες θέσεις και με απώλεια κροσσών σε άλλες θέσεις, ονομάζεται διαμόρφωμα συμβολής. Το μοτίβο εμφανίζεται διότι στα σημεία στα οποία συναντώνται δύο όρη ή δύο κοιλίες εμφανίζονται ψηλά κύματα. Αντίθετα, σε περιοχές που ένα όρος συναντά μία κοιλάδα, αυτά αλληλοακυρώνονται. Στα σημεία αυτά δεν υπάρχουν πλέον κύματα. Θα επανέλθουμε σε αυτό στον μαθησιακό σταθμό II «Τι είναι το φως;».

Ας επιστρέψουμε τώρα στα αποτελέσματα του πειράματος διπλής οπής για τα ηλεκτρόνια και ας τα συγκρίνουμε με το πείραμα για τα κύματα. Βλέπετε ένα διαμόρφωμα συμβολής με κροσσούς στην οθόνη που να έχει προκληθεί από ηλεκτρόνια; (ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Μπορείτε να ισχυριστείτε ότι τα ηλεκτρόνια έχουν κυματική συμπεριφορά; (ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Τα ηλεκτρόνια φτάνουν ένα ένα, αλλά το μοτίβο που σχηματίζεται από αυτά τα σωματίδια είναι ένα μοτίβο παρεμβολής, λόγω των κυματικών γνωρισμάτων των ηλεκτρονίων!

2.d Το πείραμα της διπλής σχισμής για μόρια μεγάλου μεγέθους

Τα ηλεκτρόνια είναι εξαιρετικά μικρά σωματίδια και ίσως να πιστεύετε ότι η δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου να ισχύει μόνο στην περίπτωση τους.



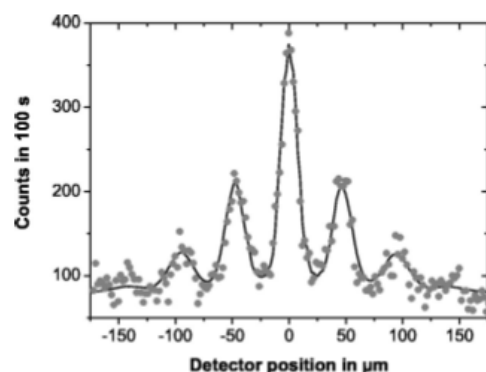
Σχήμα 6 Το μόριο φουλερένιο C_{60} είναι η μικρότερη μπάλα ποδοσφαίρου στον κόσμο (από τους: O. Nairz, M. Arndt και A. Zeilinger, "Quantum interference experiments with large molecules")

Πιστεύετε ότι η συμπεριφορά ενός ηλεκτρονίου είναι μοναδική ή και τα μεγαλύτερα μόρια θα παράγουν παρόμοιο μοτίβο παρεμβολής στο πείραμα της διπλής σχισμής;

Το πείραμα της διπλής σχισμής έχει επίσης εκτελεστεί με **φουλερένια μόρια**, C_{60} , επίσης γνωστά ως **"bucky balls"**. Τα μόρια αυτά αποτελούνται από 60 άτομα άνθρακα ενωμένα μεταξύ τους σε μορφή που μοιάζει με μπάλα ποδοσφαίρου. Μια μοριακή μπάλα ποδοσφαίρου αν θέλετε, το φουλερένιο μόριο είναι η μικρότερη μπάλα ποδοσφαίρου στον κόσμο. Το αποτέλεσμα του πειράματος παρουσιάζεται στο σχήμα 6.

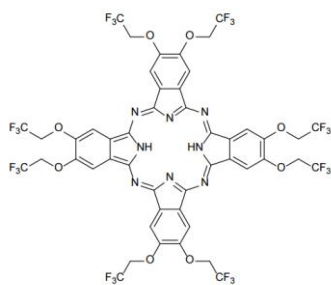
Σχήμα 7 Μοτίβο παρεμβολής φουλαρενίου (από τους: O. Nairz, M. Arndt και A. Zeilinger, "Quantum interference experiments with large molecules")

Κβαντοφυσική: η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων με τις μεγάλες εφαρμογές

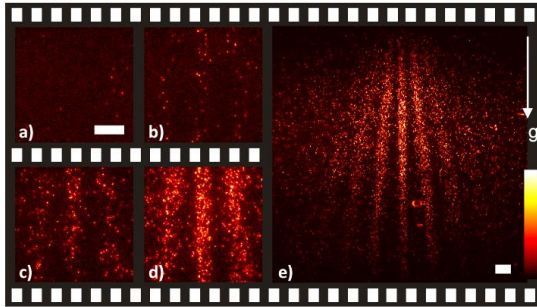


Είναι "ξεχωριστό" το ηλεκτρόνιο ή η δυαδικότητα κύματος-σωματιδίου αποτελεί θεμελιώδες χαρακτηριστικό της ύλης γενικότερα;

Όσο πιο μεγάλο μέγεθος έχει ένα αντικείμενο, τόσο μικρότερο το μήκος κύματός του (θα επανέλθουμε σε αυτό με την σχέση του De Broglie- Μαθησιακός Σταθμός IV). Κατά συνέπεια τα πειράματα γίνονται ολοένα και πιο δύσκολα ως προς την υλοποίησή τους (χρειάζεστε μικρότερες σχισμές με μικρότερη απόσταση για μεγαλύτερα αντικείμενα).



Πρόσφατα το πείραμα των 2 οπών εκτελέστηκε με μεγάλα μόρια μάζας από 500 έως 1000 φορές την μάζα του άνθρακα. Μεγάλης μάζας μόρια, επίσης συμβάλλουν ως κύματα και διαμορφώνουν ένα μοτίβο για κάθε μόριο το οποίο καταλήγει στην οθόνη.



Ένα τέτοιο πείραμα όχι μόνο παρουσιάζει τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό, αλλά επιπλέον διερευνά το όριο ανάμεσα στην κβαντική και την κλασσική φυσική.

Δείτε την μικρή ταινία για την κβαντομηχανική των μορίων:

www.nature.com/nnano/journal/v7/n5/extref/nnano.2012.34-s3.avi

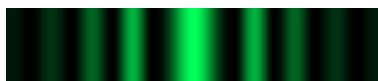
Figure 8 Διαμόρφωμα κβαντικής συμβολής από μεγάλα μόρια, μερικές εικόνες από την ταινία: 'Quantum Molecular Movie'. (Juffmann, T., Milic, A., Müllneritsch, M., Asenbaum, P., Tsukernik, A., Tüxen, J., ... & Arndt, M. (2012). Απεικόνιση κβαντικής συμβολής με μονήρη μόρια σε πραγματικό χρόνο. Nature nanotechnology, 7(5), 297-300)

Με το ξεκίνημα της κβαντομηχανικής στις αρχές του 20ού αιώνα, αυτά τα κυματοσωματιδιακά χαρακτηριστικά έδειχναν πολύ θεωρητικά. Τώρα όμως γίνονται ολοένα και πιο προσβάσιμα πειραματικά. Μεγάλα μόρια με χιλιάδες πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια μπορούν να βρεθούν στην φύση επίσης. Επομένως, τότε θα γίνει το πρώτο πείραμα διπλής οπής με έναν ιό;

Επιπλέον, ο πολύ ευαίσθητος εξοπλισμός που χρειάζεται για να εκτελεστούν αυτά τα πειράματα, θα συμβάλει σε συσκευές νανοτεχνολογίας οι οποίες θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε νέα πεδία όπως είναι η κβαντική πληροφορία, ή – ποιος ξέρει που θα μπορούσε να οδηγήσει όλο αυτό- φαρμακευτικές συσκευές. Η βασική έρευνα δημιουργεί νέα γνώση και νέες δυνατότητες για την ανθρωπότητα.

Εν τέλει, που θα έπρεπε να καταλήξουμε; Είναι το ηλεκτρόνιο «ιδιαιτερο», ή μήπως ο κυματοσωματιδιακός δυισμός είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό όλης της ύλης;

2.e Το πείραμα διπλής σχισμής με φως



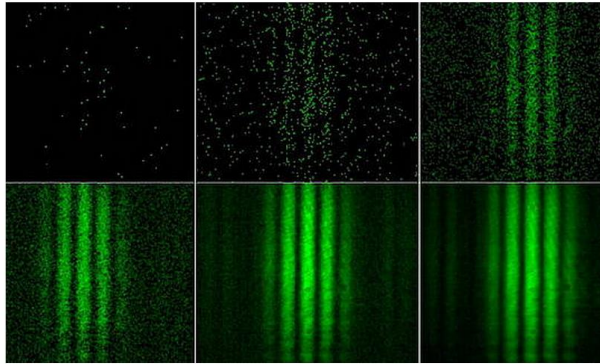
Όταν εκτελέσουμε το πείραμα διπλής οπής με το φως, εκ πρώτης όψεως δεν συμβαίνει κάτι το ιδιαίτερο:

βλέπουμε ένα διαμόρφωμα συμβολής με μια σειρά

κροσσούς με και χωρίς φως στην οθόνη. Κατά συνέπεια, το φως είναι κύμα (θα επανέλθουμε σε αυτό το ερώτημα στον μαθησιακό σταθμό II: 'Τι είναι το φως;').

Παρ' όλα αυτά, όταν ελαττώνουμε την ένταση του φωτός, βλέπουμε ότι το φως – το οποίο θεωρούσαμε ότι είναι κύμα – καταφθάνει σε μικρές μπάλες φωτός. Αυτά τα σωματίδια φωτός ονομάζονται φωτόνια.

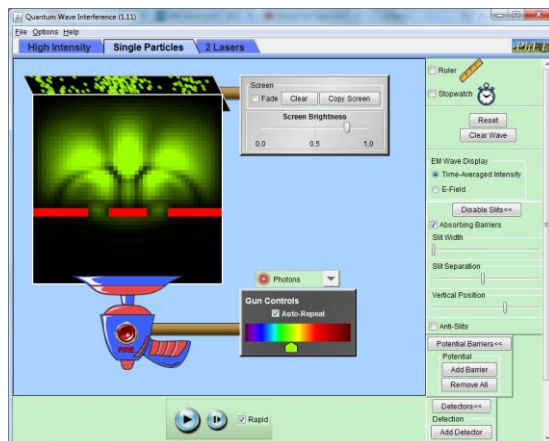
Κατά συνέπεια φαίνεται ότι υπάρχει κάποιο λάθος με τον τρόπο που η κλασσική μηχανική βλέπει τον κόσμο. Μικρά πράγματα όπως τα ηλεκτρόνια και τα μόρια, τα οποία θεωρούμε ότι μοιάζουν με μικρές μπάλες, διαμορφώνουν ένα μοτίβο συμβολής όπως τα κύματα. Το φως από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει συμβολή όπως ένα κύμα αλλά καταφθάνει κατά σωματίδια.



Εικόνα 9 Το φως καταφθάνει κατα μονηρη φωτονια σε ενα πειραμα διπλης σχισμής, το οποίο καταγράφεται από μία κάμερα απεικόνισης μονήρων φωτονίων (ενισχυτής + κάμερα CCD). Τα μονοσωματιδιακά γεγονότα συσσωρεύονται ώστε να μας δώσουν την γνώριμη εικόνα του διαμορφώματος συμβολής των φωτεινών κυμάτων καθώς ολοένα και περισσότερα φωτόνια καταγράφονται (Λήψη: A. Weis, University of Fribourg)

Ο **κυματοσωματιδιακός δυϊσμός** είναι μία από τις κύριες έννοιες που έφερε η κβαντική φυσική στην περιγραφή της φύσης, στον αντίποδα της κλασικής φυσικής. Στην κβαντική φυσική υπάρχει μία θεμελιώδης απροσδιοριστία στον προσδιορισμό της τροχιάς ενός σωματιδίου. Θα επανέλθουμε σε αυτό στον μαθησιακό σταθμό IV 'Κυματοσωματιδιακός Δυϊσμός'.

Εξάσκηση με την χρήση εφαρμογής



Μπορείτε να εξασκηθείτε χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση του πειράματος διπλής οπής : PhET "Quantum Wave Interference"

Προσπαθήστε να προσαρμόσετε τις ρυθμίσεις στο πείραμα 2 οπών για τα φωτόνια. Θα λάβετε τα καλύτερα αποτελέσματα αν εκπέμψετε φωτόνια με 'επαναληψιμότητα'. Θα πρέπει να αλλάξετε την απόσταση ανάμεσα στις σχισμές και το εύρος σχισμής για να λάβετε ένα καθαρά διαμόρφωμα συμβολής.

Πηγή: University of Colorado, Boulder

phet.colorado.edu/en/simulation/quantum-wave-interference

Απαντήστε στις παρακάτω εννοιολογικές ερωτήσεις:

1. Όταν παρατηρείτε την υψηλής έντασης φωτεινή δέσμη, μπορείτε να εξηγήσετε το παρατηρούμενο μοτίβο με την κλασική κυματική θεωρία; (ΝΑΙ/ΟΧΙ) διότι.....
2. Όταν παρατηρείτε ένα πείραμα διπλής οπής για μοναχικά φωτόνια, μπορείτε να εξηγήσετε το αποτέλεσμα που παρατηρείτε με την κλασική θεωρία, ή χρειάζεστε την κβαντική θεωρία; (ΝΑΙ/ΟΧΙ) διότι.....

Μεταβείτε τώρα στο πείραμα διπλής οπής για ηλεκτρόνια

1. Όταν παρατηρείτε την υψηλής έντασης ηλεκτρονική δέσμη, μπορείτε να εξηγήσετε το παρατηρούμενο μοτίβο με την κλασσική κυματική θεωρία; (ΝΑΙ/ΟΧΙ) διότι.....
2. Όταν παρατηρείτε ένα πείραμα διπλής οπής για μοναχικά φωτόνια, μπορείτε να εξηγήσετε το αποτέλεσμα που παρατηρείτε με την κλασσική θεωρία, ή χρειάζεστε την κβαντική θεωρία; (ΝΑΙ/ΟΧΙ) διότι.....

3 Φάσματα εκπομπής και απορρόφησης των χημικών ουσιών

Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός και η απώλεια της έννοιας της τροχιάς για το πολύ μικρό είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της κβαντικής μηχανικής έναντι της κλασσικής μηχανικής. Ας δούμε εάν αυτή η νέα μηχανική του πολύ μικρού χρειάζεται επιπλέον για να εξηγήσει χαρακτηριστικά των μορίων τα οποία ήταν έως τώρα ανεξήγητα από την κλασσική φυσική.

3.a Τυπικά χρώματα ενός χημικού στοιχείου

Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα ήταν ήδη ευρέως γνωστό ότι οι χημικές ουσίες παράγουν χαρακτηριστικά χρώματα όταν θερμανθούν. Αν κρατήσετε ένα δείγμα της χημικής ουσίας μέσα σε φλόγα, θα δείτε το χαρακτηριστικό για την ουσία αυτή χρώμα.

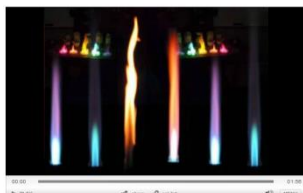


Σχήμα 10 Το νάτριο (Na) όταν κρατιέται μέσα σε φλόγα παράγει ένα χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα. Αν κάνετε το ίδιο με τον χαλκό (Cu), θα πάρετε το δικό του τυπικό μπλε

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση μιας χημικής ουσίας!

Κάντε και εσείς ορισμένα πειράματα με φλόγα.

How to Conduct a Flame Test
with Dr. Anna Maria Palomares



Το βίντεο "Πώς να κάνετε ένα πείραμα με φλόγα" εξηγεί πώς να κάνετε το πείραμα : video.about.com/chemistry/How-to-Do-a-Flame-Test.htm

Αν χρειαστεί, μπορείτε να ζητήσετε συμβουλές από τον καθηγητή της χημείας σας. Κάντε τα πειράματα με τη φλόγα. **Πώς είναι δυνατό κάθε χημική ουσία να παράγει το δικό της χαρακτηριστικό χρώμα;** Γράψτε ποια χημική ουσία χρησιμοποιήσατε και το αντίστοιχο χρώμα φλόγας στον παρακάτω πίνακα.

Χημική ουσία	Χρώμα Φλόγας

Τα τυπικά χρώματα που παράγουν οι χημικές ουσίες μπορούν να γίνουν καλύτερα αντιληπτά με έναν **λαμπτήρα εκκένωσης αερίου**. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι διάφανοι σωλήνες γεμάτοι με ένα ειδικό αέριο. Όταν εφαρμόζετε ηλεκτρική τάση στα άκρα του σωληνοειδή λαμπτήρα, ο λαμπτήρας φωτίζεται με το χαρακτηριστικό χρώμα του αερίου που βρίσκεται στο εσωτερικό του.

Οι λαμπτήρες νατρίου βρίσκονται συχνά σε αυτοκινητόδρομους και, πράγματι, εκπέμπουν το χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα του νατρίου.

Οι λαμπτήρες υδραργύρου συναντώνται για παράδειγμα ως φώτα αυτοκινήτων και εκπέμπουν ένα χαρακτηριστικό κυανόλευκο φως.

Μπορείτε να παρακολουθήσετε τις γραμμές εκπομπής χρησιμοποιώντας ένα φασματόμετρο. Ίσως να έχετε ένα στο εργαστήριό σας, ή να μπορείτε να κατασκευάσετε ένα φασματόμετρο τσέπης (Δείτε τον Μαθησιακό Σταθμό XI για οδηγίες).



3.b Διακριτές γραμμές εκπομπής των ατόμων

Παρατηρήσατε τις διακριτές γραμμές των ουσιών που εξετάσατε. Όταν θερμαίνετε μια χημική ουσία σε φλόγα ή όταν καίτε το αέριο κάποιας χημικής ουσίας σε έναν λαμπτήρα εκκένωσης αερίου, παρατηρείτε το χαρακτηριστικό χρώμα της ουσίας που χρησιμοποιήσατε. Το νάτριο σε φλόγα ή σε λαμπτήρα εκκένωσης αερίου πάντα δίνει ένα πανομοιότυπο κίτρινο χρώμα. Όταν μια ουσία θερμαίνεται σε φλόγα ή υπόκειται σε τάση σε λαμπτήρα εκκένωσης αερίου, τα μόρια διασπώνται και ως αποτέλεσμα, η ουσία υφίσταται στην **ατομική της κατάσταση**.

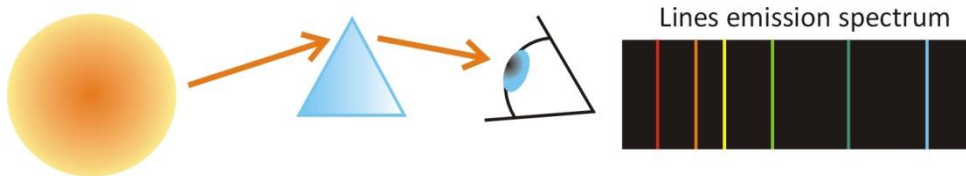
Τότε όμως πρέπει να είναι τα ίδια τα άτομα που παράγουν τα χαρακτηριστικά χρώματα!!

Η ερώτηση που οι φυσικοί θέλησαν να απαντήσουν στο τέλος του 19^{ου} αιώνα και τις αρχές του 20^{ου} ήταν η εξής:

Πώς μπορεί ένα άτομο να εκπέμπει τόσο ακριβή χρώματα;

Οι φυσικοί της εποχής εκείνης δεν είχαν ουδέποτε φανταστεί ότι το μονοπάτι που θα οδηγούσε στην απάντηση θα οδηγούσε ταυτόχρονα σε μια ολοκαινούργια φυσική: την κβαντοφυσική! Σε αυτούς τους μαθησιακούς σταθμούς θα ακολουθήσουμε το μονοπάτι αυτό παρά σας. Θα ανακαλύψουμε ότι η κλασική φυσική δεν ισχύει πια σε ατομικό επίπεδο και ότι έρχεται στο φως μια νέα θεμελιώδης συμπεριφορά της ύλης. Μια συμπεριφορά που εμείς, και το σύνολο των φυσικών μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχαμε ολότελα παραβλέψει.

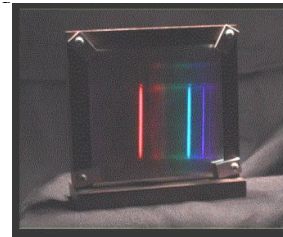
Η αναζήτησή μας ξεκινάει από τα χαρακτηριστικά χρώματα των φασμάτων εκπομπής. Με ένα πρίσμα ή ένα πλέγμα περίθλασης μπορούμε να διασπάσουμε το φως και να δούμε τα χρώματα από τα οποία συντίθεται. Το πλέγμα περίθλασης είναι ένα διάφραγμα με πολύ πολλές παράλληλες λεπτές οπές σε αυτό.



*Σχήμα 11 Τα ατομικά αέρια εκπέμπουν φως που μπορεί να διασπαστεί στα χρώματα που το συνθέτουν με ένα πρίσμα ή φράγμα περίθλασης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να δούμε ότι το παρατηρηθέν χρώμα στην πραγματικότητα συντίθεται από έναν **διακριτό αριθμό** ευδιάκριτων γραμμών χρώματος. Αυτές οι διακριτές γραμμές εκπομπής είναι*

M

πορούμε, για παράδειγμα, να δούμε το φάσμα εκπομπής του υδρογόνου, του πρώτου στοιχείου στον πίνακα του Mendeleev και της απλούστερης και συνηθέστερης χημικής ουσίας στο σύμπαν. Αν έχετε έναν λαμπτήρα εκκένωσης αερίου υδρογόνου και ένα φασματοσκόπιο στο εργαστήριο φυσικής του σχολείου, θα μπορούσατε να πάτε και να δείτε το φάσμα εκπομπής με τα ίδια σας τα μάτια. Ζητήστε βοήθεια από τον καθηγητή φυσικής σας!



*Σχήμα 12 Το χαρακτηριστικό φάσμα γραμμών του ατομικού **υδρογόνου** συντίθεται από 3 ευδιάκριτες γραμμές: μία κόκκινη, μία μπλε και μια βιολετιά.*

Στον μαθησιακό σταθμό V θα εισάστε σε θέση, ακριβώς όπως οι μεγάλοι πατέρες της κβαντοφυσικής, Niels Bohr και Louis De Broglie, να *προβλέπετε το μήκος κύματος των γραμμών εκπομπής*, και μάλιστα με ακρίβεια 4 ψηφίων μετά το κόμμα!

i) **Να καθορίσετε τα στοιχεία που υπάρχουν σε 4 διαφορετικούς λαμπτήρες εκκένωσης αερίων**

Στο ακόλουθο βίντεο, το φως που παράγεται από τέσσερις λαμπτήρες εκκένωσης αερίου γεμάτους με διαφορετικά στοιχεία διασπάται στα χρώματα που το συνθέτουν με ένα φράγμα περίθλασης.

Ψάξτε και βρείτε τα φάσματα εκπομπής του νέον, του κρυπτού, του ηλίου, του υδρογόνου και του υδραργύρου. Να συγκρίνετε αυτά τα φάσματα εκπομπής με τα φάσματα των διαφόρων λαμπτήρων. Να καθορίσετε, στη συνέχεια, ποια χημική ουσία είναι παρούσα σε κάθε λαμπτήρα.



Σχήμα 13 Ατομικά φάσματα - Ονομάστε το στοιχείο
www.youtube.com/watch?v=1qT7h1YvKq0&feature=related

Λαμπτήρας	Ποιο στοιχείο περιέχεται;
1	
2	
3	
4	

ii) Να αναλύσετε το φως που εκπέμπουν τα αστέρια

Στις μετρήσεις του φάσματος του ήλιου ή άλλων **αστέρων**, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις χαρακτηριστικές γραμμές του H και He κυρίως. Από αυτό μαθαίνουμε ότι τα άστρα αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο και ήλιο. Μια περαιτέρω ανάλυση των φασμάτων αυτών μας δίνει επίσης πληροφορίες σχετικά με την ηλικία των αστέρων, αλλά και για το πώς κινούνται.



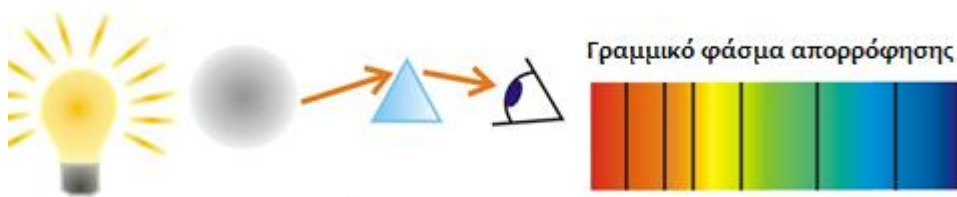
Παρακολουθήστε το βίντεο "Το Φάσμα των Αστέρων" στο www.youtube.com/watch?v=I4yq4HTm3uk

Τα άτομα στέλνουν ακριβείς διακριτές γραμμές εκπομπής, που μας επιτρέπουν να δούμε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των χημικών στοιχείων σε αστέρες που βρίσκονται σε απόσταση ετών φωτός από εμάς. Αλλά και το αντίθετο είναι επίσης δυνατό: το φως μπορεί να απορροφηθεί από νέφη ατομικών αερίων. Αυτά τα ατομικά νέφη απορροφούν μόνο συγκεκριμένες διακριτές γραμμές χρώματος από το φως που τις διαπερνά.

3.c Διακριτές γραμμές απρόφησης

Όταν το φως από ένα αστέρι διέρχεται μέσα από ένα ψυχρό νέφος αερίου καθώς κατευθύνεται προς τον παρατηρητή, συγκεκριμένα χρώματα μπορεί να απορροφηθούν από το νέφος, προκαλώντας μια σειρά από μαύρες απορροφημένες γραμμές στο φάσμα του αστέρα, όπως το βλέπει ο παρατηρητής. Αυτές οι γραμμές ονομάζονται γραμμές απορρόφησης και το σχετικό φάσμα ονομάζεται φάσμα απορρόφησης.

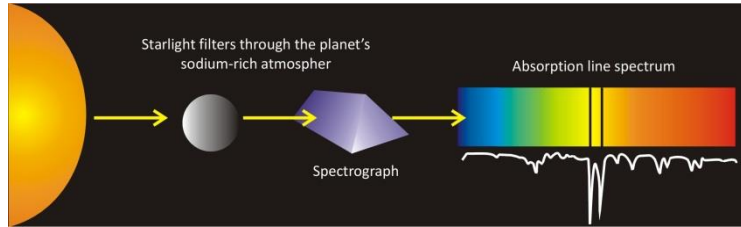
Η ανάλυση του φάσματος απορρόφησης αποκαλύπτει ποια στοιχεία είναι παρόντα στο νέφος αερίων.



Σχήμα 14 Όταν "λευκό" φως διαπερνά ένα ατομικό αέριο, συγκεκριμένες γραμμές χρώματος «μπλοκάρονται» από το αέριο και δεν φτάνουν ποτέ στον παρατηρητή. Τα άτομα του αερίου έχουν απορροφήσει αυτά

τα χρώματα που εξαφανίζονται από το φως που εκπέμπει το αέριο, με αποτέλεσμα ένα **διακριτό φάσμα απορρόφησης** που γίνεται αντιληπτό από τον παρατηρητή.

Για παράδειγμα, μπορούμε να προσδιορίσουμε τα χημικά στοιχεία στην ατμόσφαιρα ενός πλανήτη μετρώντας το φάσμα απορρόφησης του ηλιακού φωτός που έχει διαπεράσει την



ατμόσφαιρα του συγκεκριμένου πλανήτη.

Η απορρόφηση του φωτός για συγκεκριμένες γραμμές χρώματος συντελείται

όταν το φως έχει απορροφηθεί από ένα συγκεκριμένο στοιχείο:

Τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης είναι τα χαρακτηριστικά σημάδια της παρουσίας συγκεκριμένων ατόμων ή μορίων.

4 Εξηγώντας τις διακριτές φασματικές γραμμές;

4.a Επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια στα άτομα, πηγές φωτός;

Οκ, τα άτομα εκπέμπουν διακριτές γραμμές εκπομπής. Αλλά γιατί;

Πως μπορεί ένα άτομο να εκπέμψει συγκεκριμένα χρώματα;

Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα πρέπει να αναζητηθεί, πρώτα απ' όλα, στο ίδιο το άτομο. The answer to this question must be sought, first of all, in the atom itself.

Πως μπορεί ένα άτομο να εκπέμψει φως;

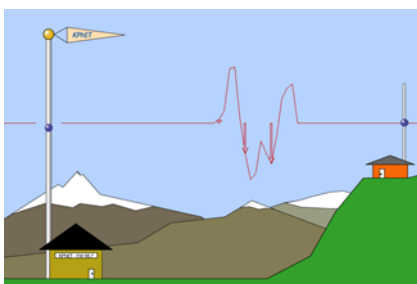
Πως μπορεί ένα άτομο να απορροφήσει φως;

Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, ανακαλύφθηκε ότι το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Εμπνευστείτε από τις κεραιές εκπομπής:

Ένα επιταχυνόμενο φορτίο σε μια κεραία εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Δεν θα ήταν τότε λογικό να θεωρήσουμε την επιτάχυνση φορτίων στην ύλη, τα ηλεκτρόνια, υπεύθυνα για την εκπομπή φωτός από την ύλη;

Κατά συνέπεια η κίνηση, ή καλύτερα, η *επιτάχυνση* ηλεκτρονίων θα μπορούσε να είναι η πηγή του φωτός στην ύλη.



Τα ηλεκτρόνια είναι πράγματι, κινούμενα φορτία εντός του ατόμου. Μπορούν να θεωρηθούν ατομικοί 'εκπομποί'. Λόγω της κίνησής τους, εκπέμπουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα: φως. Χρησιμοποιήστε την

e 15 Ένα επιταχυνόμενο φορτίο σε μια κεραία, εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Με αυτό το σκεπτικό δεν θα ήταν λογικό να θεωρήσουμε ότι η επιτάχυνση φορτίων στην ύλη είναι υπαίτια για την εκπομπή φωτός; (Εφαρμογή PhET, University of Colorado, Boulder)

μογή PhET για την εκπομπή ραδιοκυμάτων στο:

phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves

Κατά συνέπεια, η κλασσική φυσική μπορεί να εξηγήσει το γενικό φαινόμενο της εκπομπής φωτός από τα άτομα ως συνέπεια της πολύ μεγάλης επιτάχυνσης των ηλεκτρονίων στο άτομο.

4.b Εξηγείται η εκπομπή του φωτός από το κλασσικό ατομικό μοντέλο του Rutherford;

Μπορούν τα κλασσικά ατομικά μοντέλα να εξηγήσουν γιατί τα άτομα εκπέμπουν ή απορροφούν διακριτά γραμμικά φάσματα;

Πως γίνεται να είναι τόσο τέλεια οργανωμένη η κίνηση των ηλεκτρονίων στα άτομα ώστε μόνο γραμμές συγκεκριμένου χρώματος να εκπέμπονται;

Για να το διερευνήσουμε αυτό, πρέπει να παρατηρήσουμε το κλασσικό ατομικό μοντέλο του Rutherford πιο προσεκτικά. Το ατομικό μοντέλο αυτό ήταν το τελευταίο κλασσικό ατομικό μοντέλο πριν την καθιέρωση της κβαντικής μηχανικής.

i) **Σχεδιάστε το κλασσικό 'πλανητικό' ατομικό μοντέλο του Rutherford:**

ii) **Βρείτε σε ποια περίοδο ο Rutherford δούλεψε στο Cambridge:**

Σίγουρα γνωρίζετε το ατομικό μοντέλο του Rutherford: τα ηλεκτρόνια περικυκλώνουν τον πυρήνα όπως οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον ήλιο.

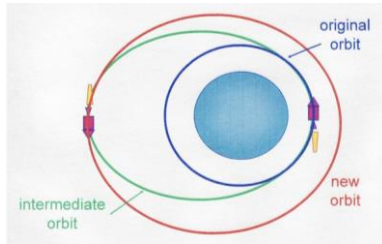
Συνειδητοποιήσατε ποτέ ότι για να εκπέμψει κόκκινο φως, το ηλεκτρόνιο πρέπει να κινείται πιο αργά, ενώ για να εκπέμψει μπλε φως (με υψηλότερη συχνότητα), το ηλεκτρόνιο θα πρέπει να κινείται ταχύτερα; Κατά συνέπεια μία καθορισμένη κυκλική κίνηση του ηλεκτρονίου προκαλεί την παραγωγή ενός συγκεκριμένου χρώματος.

Το άτομο του υδρογόνου, για παράδειγμα, το οποίο έχει 3 γραμμές εκπομπής, θα έπρεπε να έχει 3 αντίστοιχες ηλεκτρονιακές τροχιές στις οποίες το ηλεκτρόνιο θα περιστρεφόταν σε τρεις διαφορετικές και πολύ συγκεκριμένες ταχύτητες έτσι ώστε να εξηγηθεί η κόκκινη, η τιρκουάζ και η μπλέ γραμμή.

Θεωρείτε ότι είναι δυνατό για ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου να κινείται σε 3 διαφορετικές τροχιές, σε 3 διαφορετικές ταχύτητες γύρω από τον πυρήνα ώστε να παράξει 3 διαφορετικές γραμμές εκπομπής;
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Αν ναι, γιατί θα γινόταν αυτό;

Εμπνευστείτε από την κίνηση δορυφόρων σε τροχιά:



όπως οι πλανήτες ή οι δορυφόροι που κινούνται γύρω από τον ήλιο ή την γή αντίστοιχα, ένας δορυφόρος μπορεί να μεταβεί σε μία 'υψηλότερη' ή 'χαμηλότερη' τροχιά αν προστεθεί ή αφαιρεθεί ενέργεια από αυτόν. Όλα καλά έως τώρα. Επομένως ίσως αυτό να συμβαίνει και με τα ηλεκτρόνια στα άτομα επίσης. Μεταβαίνει από χαμηλότερες σε υψηλότερες τροχιές και ξανά πίσω στις χαμηλότερες, ώστε να εκπέμψει τις 'απαιτούμενες'

γραμμές.

Παρόλα αυτά, το ερώτημα παραμένει:

Γιατί θα πρέπει να επιτρέπονται μόνο μερικές τροχιές, αυτές που συσχετίζονται με τις συχνότητες των γραμμών με το παρατηρούμενο χρώμα;

Στην κλασική εικόνα, όπως στους δορυφόρους, όλες οι πιθανές ενέργειες επιτρέπονται και ένα περιστρεφόμενο ηλεκτρόνιο θα μπορούσε να εκπέμψει φως όλων των πιθανών συχνοτήτων, και άρα όλων των πιθανών χρωμάτων.

Τι πιστεύετε; Εκπέμπει το άτομο του υδρογόνου όλα τα πιθανά χρώματα;
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)

Πέρα από αυτά όμως, υπάρχει ένα ακόμα χειρότερο πρόβλημα με το κλασικό μοντέλο του ατόμου.

4.c Η κατάρρευση του μοντέλου του Rutherford

Ένα κλασικό ηλεκτρόνιο το οποίο εκτελεί κυκλική κίνηση, όπως και μια κεραία με εναλασσόμενο ρεύμα, εκπέμπει διαρκώς ηλεκτρομαγνητικά κύματα.



Εικόνα 13 Ακριβώς όπως το εναλασσόμενο ρεύμα σε μια κεραία, ένα ηλεκτρόνιο που περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου θα εκπέμψει διαρκώς ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ο Niels Bohr συνειδητοποίησε ότι με αυτόν τον τρόπο το ηλεκτρόνιο θα χάνει ενέργεια, με συνέπεια να πέσει στον πυρήνα. Με βάση την κλασική φυσική, δεν μπορούν να υπάρξουν σταθερά άτομα. Και τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται ακριβώς και μόνο με τις λίγες διακριτές συχνότητες που συσχετίζονται με τις παρατηρούμενες γραμμές εκπομπής, δεν θα μπορούσαν να περιγραφούν από την κλασική φυσική. (Πηγή εικόνας: EDN, Μάρτιος 2000)

Αλλά καθώς η ενέργεια προστίθεται στην κεραία, κανείς δεν προσφέρει ενέργεια στο άτομο. Επομένως, από πού θα προέλθει η ενέργεια που εκπέμπει το ηλεκτρόνιο υπο τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων;

....

Τι θα συμβεί στο περιστρεφόμενο ηλεκτρόνιο;

...

Η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από το άτομο θα μπορούσε να λάβει χώρα μόνο με το κόστος της κινητικής ενέργειας των περιφερόμενων ηλεκτρονίων. Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια θα έχαναν διαρκώς ενέργεια καθώς εξέπεμπαν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Ήταν ο Δανός φυσικός Niels Bohr ο οποίος διαπίστωσε ότι τα ηλεκτρόνια, λόγω της συνεχούς απώλειας ενέργειας που οφείλεται στην εκπομπή φωτός, θα έχαναν διαρκώς ταχύτητα, και σε πολύ μικρό χρόνο θα κατέρρεαν πάνω στον πυρήνα. Με άλλα λόγια, ο Bohr κατάλαβε ότι ένα πλανητικού τύπου άτομο με περιφερόμενα ηλεκτρόνια, δεν θα μπορούσε να υπάρξει με βάση τη φυσική. Παρ'όλα αυτά εμείς υπάρχουμε, οπότε πώς είναι αυτό δυνατόν;

Σύμφωνα με την κλασική φυσική, το 'πλανητικό' ατομικό μοντέλο του Rutherford δεν έχει νόημα και η ύλη δεν μπορεί να υπάρξει.

Η Κλασική Φυσική δεν μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρούμενες γραμμές εκπομπής και απορρόφησης των χημικών στοιχείων.

Το 2013 έκλεισαν ακριβώς 100 χρόνια από τότε που ο Bohr πρότεινε το πρώτο κβαντικό ατομικό μοντέλο.

*Εικόνα 16 Ο Heisenberg και ο Bohr στην Κοπεγχάγη το 1934
(Πηγή: AIP, American Institute for Physics,
φωτογραφία από τον Paul Ehrenfest)*



Στους ακόλουθους μαθησιακούς σταθμούς θα σας πάρουμε μαζί μας σε μία αποστολή για να καταλάβουμε την εκπομπή του φωτός από την ύλη και πως αυτή μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας κβαντομηχανική. Διότι η συμπεριφορά φωτός και ύλης δεν μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας κλασική μηχανική ή κλασικό ηλεκτρομαγνητισμό. Κατά συνέπεια, σταδιακά αναπτύχθηκε μια βαθύτερη θεωρία από την Νευτώνεια Μηχανική, η οποία καλείται «κβαντική μηχανική». Στον μαθησιακό σταθμό V, θα μπορέσετε ακριβώς όπως και οι πατέρες της κβαντικής φυσικής Niels Bohr και Louis De Broglie, να *προβλέψετε* το μήκος κύματος των γραμμών εκπομπής με ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων.

Στο επόμενο κεφάλαιο συνεχίζουμε τη διερεύνησή μας με την ερώτηση: **τι είναι το φως;**

5 Έννοιες του 1^{ου} Μαθησιακού Σταθμού

Συμπληρώστε τις έννοιες που λείπουν

Κλασσικές έννοιες

Δεδομένης της αρχικής θέσης, ταχύτητας και της δύναμης που δρα σε μια μάζα

Διαμόρφωμα συμβολής κλασσικών κυμάτων (π.χ πείραμα διπλής οπής για υδάτινα κύματα).

Ένα επιταχυνόμενο ηλεκτρόνιο, όντας ένα επιταχυνόμενο φορτισμένο σωματίο, παράγει Αυτό ισχύει επίσης και για τα ατομικά ηλεκτρόνια: μπορούν να εκπέμψουν φως αφού είναι επιταχυνόμενα φορτία.

Ατομικό μοντέλο του Rutherford.

Κβαντικές έννοιες

Η τροχιά των σωματιδίων δεν ορίζεται.

Όλα τα «σωμάτια», όπως τα ηλεκτρόνια, έχουν φύση. είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της ύλης.

Τα άτομα εκπέμπουν και απορροφούν Χρωματικές γραμμές, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές του κάθε στοιχείου. Αυτό συνδέεται με την δομή του κβαντικού ατομικού μοντέλου του Bohr.