

Διαλέξεις 1 και 2.

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ενεργειακές καταστάσεις σε μέταλλα και ημιαγωγούς. Πώς μετρείται η πυκνότητα καταστάσεων. Πώς γεμίζουν οι ενεργειακές καταστάσεις.

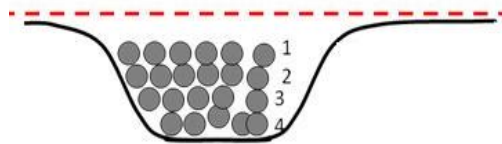
1. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Διάταξη. Γραφικές παραστάσεις. Ερμηνεία του Einstein.
2. Υποθέστε ότι έχουμε μια φωτεινή πηγή που δίνει 1mW φως. Το φως διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο. Εάν βάλουμε ένα κομμάτι χαρτί (εμβαδού a) κοντά στη πηγή φωτίζεται εντονότερα απ' ότι εάν το τοποθετήσουμε σε μεγαλύτερη απόσταση. Εκφράστε αυτή την παρατήρηση ποσοτικά.
3. Πόση είναι η φωτεινή ισχύς πέφτει σε ένα μικρό δίσκο ακτίνας $r = 10\text{cm}$ που είναι τοποθετημένος σε απόσταση $d = 1\text{m}$ από φωτεινή πηγή ισχύος 1mW;
4. Με ένα κουτάλι παίρνετε νερό από ένα ποτήρι. Η μία κουταλιά είναι 5ml ή 5gr νερό. Φανταστείτε ότι το κουτάλι μικραίνει συνέχεια. Θα μπορούσατε με ένα οσοδήποτε μικρό κουτάλι να πάρετε μία οσοδήποτε μικρή ποσότητα νερού;
5. Παρατηρείστε τις τιμές του Πίνακα που ακολουθεί.

a/a	Επιφάνεια	Φωτεινή ενέργεια σε 1sec
1	δίσκος $r=10\text{cm}$	$2,5 \times 10^{-6} \text{ Joule}$
2	δίσκος $r=1\text{cm}$	$2,5 \times 10^{-8} \text{ Joule}$
3	δίσκος $r=1\text{mm}$	$2,5 \times 10^{-10} \text{ Joule}$

Εάν συνεχίσουμε να μειώνουμε την ακτίνα του δίσκου κατά ένα παράγοντα 10 θα συνεχίσει η φωτεινή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνειά του να μειώνεται κατά ένα παράγοντα 100 όπως φαίνεται στον πίνακα;

6. Ένα laser ιόντων Αργού ρυθμίζεται να δίνει φως μήκους κύματος $\lambda=514\text{nm}$. Πόσα φωτόνια εκπέμπει ανά δευτερόλεπτο όταν η φωτεινή δέσμη έχει ισχύ 1mW και πόσα όταν είναι 2W;

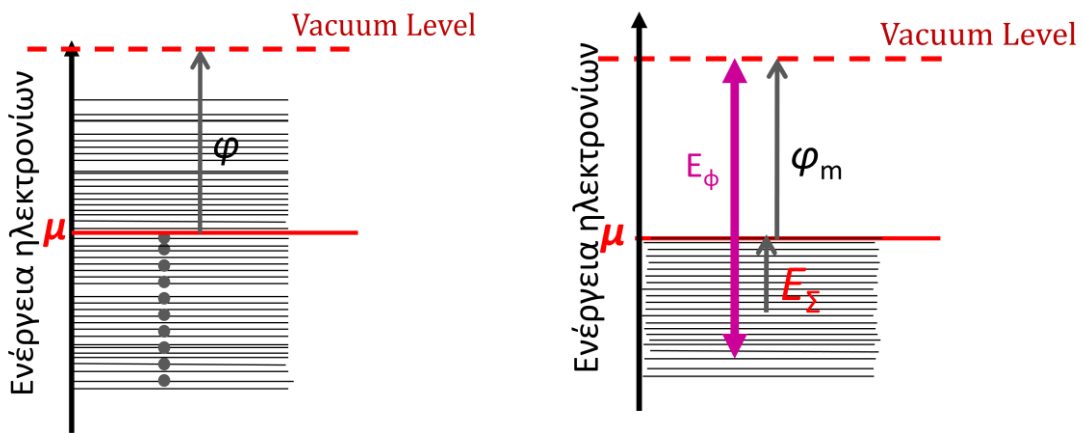
7. α) Το 1eV είναι η που απαιτείται για να μετακινηθεί φορτίο ανάμεσα σε δύο σημεία β) Τα 4eV είναιJoule. γ) Τα $6,4 \times 10^{-18} \text{ Joule}$ είναι eV. Ποιά είναι η ενέργεια του φωτονίου με μήκος κύματος $\lambda = 300\text{nm}$;
8. Ένα δοχείο περιέχει μπίλιες σε στρώσεις (στάθμες). Ένας μηχανισμός σκανδάλης



μπορεί και δίνει πακέτα ενέργειας 10Joule σε οποιαδήποτε μπίλια. Η ενέργεια που χρειάζεται μια μπίλια για να φτάσει από την επάνω στρώση (στάθμη) στα χείλη του δοχείου είναι ίση με $\phi = 3\text{Joule}$. α) Ποια είναι η

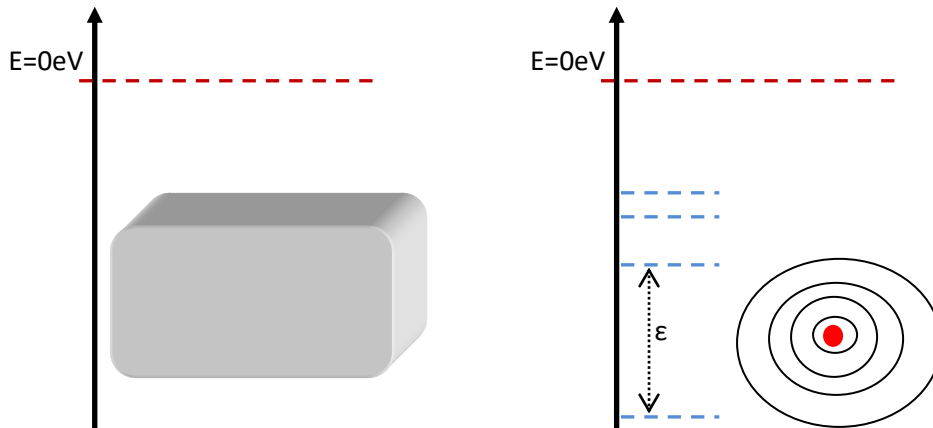
μέγιστη κινητική ενέργεια που μπορεί να έχει μια μπίλια που εξέρχεται από το δοχείο; Από ποια στάθμη προέρχεται; β) Ποια είναι η ελάχιστη κινητική ενέργεια που μπορεί να έχει μια μπίλια που εξέρχεται από το δοχείο; Από ποια στάθμη προέρχεται; γ) Με πόση κινητική ενέργεια εξέρχεται μία μπίλια που απέχει 4 Joule από τα χείλη του δοχείου; δ) Τι θα κάνει μία μπίλια που απέχει 14 Joule από τα χείλη του δοχείου; ε) Γράψτε την εξίσωση της κινητικής ενέργειας για τα ηλεκτρόνια της πρώτης στάθμης. στ) Γράψτε την εξίσωση της κινητικής ενέργειας για τα ηλεκτρόνια μιας οποιασδήποτε στάθμης (ονομάστε E_{Σ} την ενέργεια από τη στάθμη του ηλεκτρονίου μέχρι την πρώτη στάθμη)

9. Ενεργειακές καταστάσεις σε ένα μέταλλο: Φανταστείτε τα ελεύθερα άτομα του μετάλλου να πλησιάζουν μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν το Τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών/εξωτερικής στοιβάδων είναι αυτά που επηρεάζονται πολύ/λίγο. Αντίθετα, τα ηλεκτρόνια των εξωτερικών/εσωτερικών στοιβάδων παραμένουν ανεπηρέαστα.



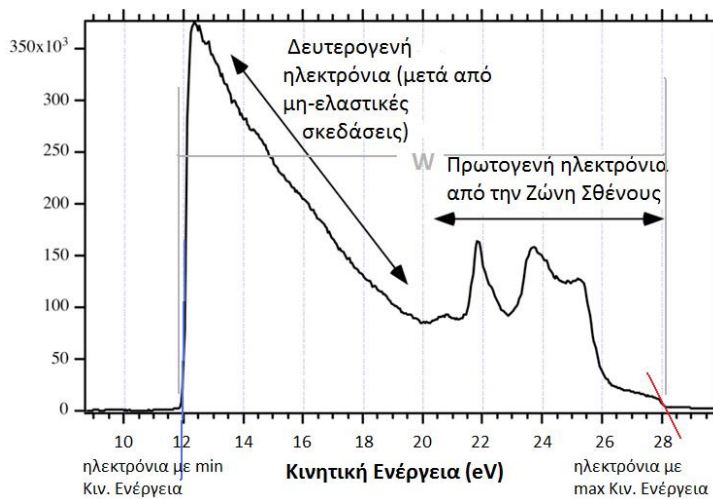
Η εξίσωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:
 Πόσα eV απέχει το μ από την στάθμη κενού;
 Πόσα eV απέχουν οι καταστάσεις των δέσμιων ηλεκτρονίων (εσωτερικών στοιβάδων) από την στάθμη κενού;
 Με βάση τις απαντήσεις των δύο τελευταίων ερωτημάτων εξηγήστε γιατί η εφαρμοζόμενη τάση σε μία διάταξη δεν επηρεάζει τα δέσμια ηλεκτρόνια.

10. Σύγκριση των ευκίνητων ηλεκτρονίων ενός μετάλλου με τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου.



Ευκίνητα ηλεκτρόνια στο μέταλλο	Ηλεκτρόνια στο άτομο
Ένα ηλεκτρόνιο έχει ενέργεια 0 όταν	Ένα ηλεκτρόνιο έχει ενέργεια 0 όταν
Η απόσταση μεταξύ δύο καταστάσεων είναιeV	Η απόσταση μεταξύ δύο καταστάσεων είναιeV
Οι καταστάσεις είναι εντοπισμένες;	Οι καταστάσεις είναι εντοπισμένες;
Η ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι θετική/αρνητική	Η ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι θετική/αρνητική
Ισχύει η αρχή του Pauli; ΝΑΙ/ΟΧΙ	Ισχύει η αρχή του Pauli; ΝΑΙ/ΟΧΙ
Πυκνότητα καταστάσεων ΝΑΙ/ΟΧΙ	Πυκνότητα καταστάσεων ΝΑΙ/ΟΧΙ
Οι καταστάσεις είναι γεμάτες/άδειες	Οι στοιβάδες είναι γεμάτες/άδειες
Στάθμη Fermi;	Στάθμη Fermi;
Δώστε μια ενδεικτική τιμή της ενέργειας	Δώστε μια ενδεικτική τιμή της ενέργειας

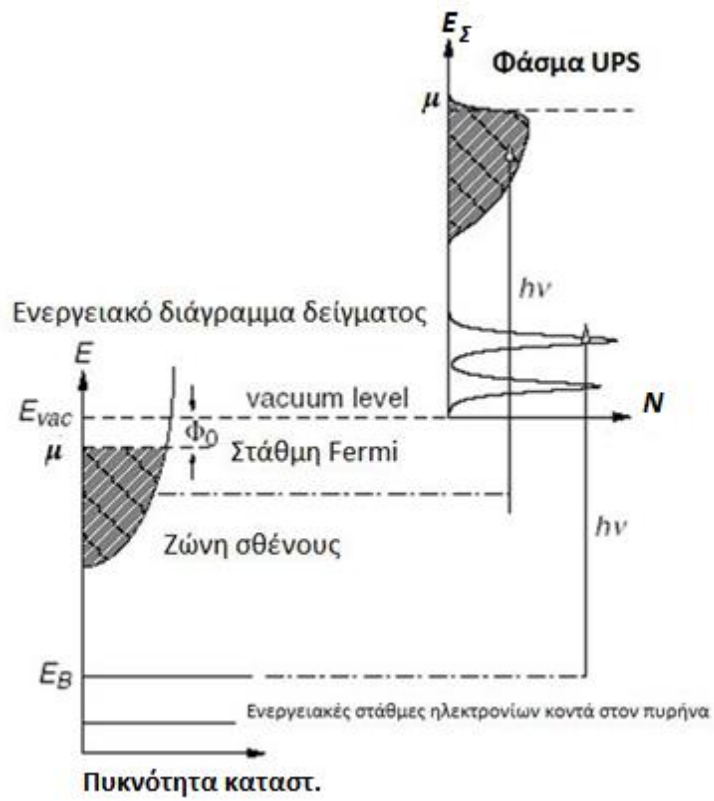
11. Φάσματα UPS He I:



- α) Ποια είναι η ελάχιστη κινητική ενέργεια των εξερχομένων ηλεκτρονίων; Συμφωνείτε; Αιτιολογείστε.
- β) Ποια είναι η μέγιστη κινητική ενέργεια των εξερχομένων ηλεκτρονίων;
- γ) Ποιο μέρος του φάσματος οφείλεται στα ηλεκτρόνια της στάθμης Fermi;
- δ) Σχεδιάστε το διάγραμμα του πλήθους ηλεκτρονίων συναρτήσει

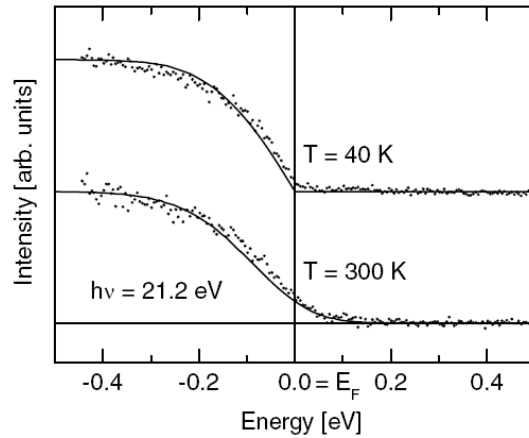
της ενέργειας σύνδεσης. ε) Ποιο κομμάτι του φάσματος δίνει πληροφορίες σχετικά με την πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων;

12. Τι καταλαβαίνετε από το ακόλουθο διάγραμμα;



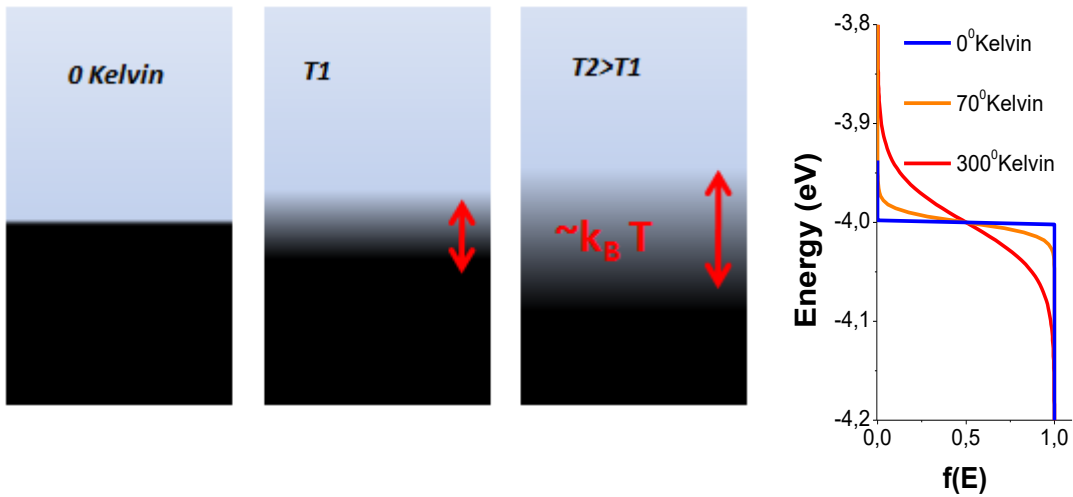
13. Ποια περιμένετε να είναι η μορφή του φάσματος ΦΦΥ κοντά στην ενέργεια Fermi; Εξηγήστε την απάντησή σας.

14. Δίνονται τα φάσματα ΦΥ χρυσού κοντά στην στάθμη Fermi στους 300^oK και στους 40^oK (οι στάθμες που βρίσκονται πιο χαμηλά από τη στάθμη Fermi είναι σημειωμένες με αρνητικές τιμές). Εξηγήστε την 'μύτη' για ενέργειες μεγαλύτερες από την στάθμη Fermi. (H. Hovel, I. Barke / Progress in Surface Science **81** (2006) 53–111)

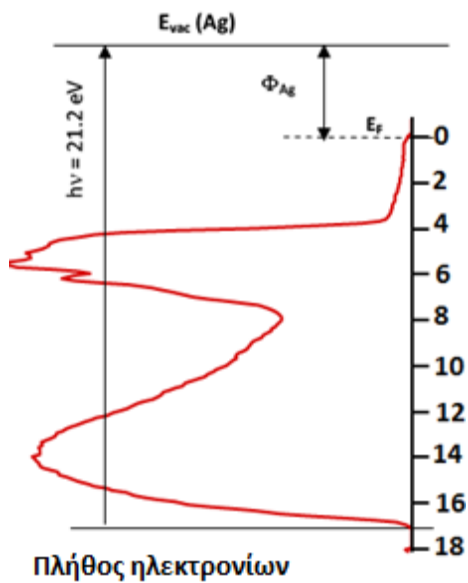


15. Η κατανομή Fermi-Dirac προκύπτει από τρεις περιορισμούς που οφείλουν να ακολουθούν τα ηλεκτρόνια:

16. Η κατανομή Fermi-Dirac με μια ματιά:



17. Δίνεται το ακόλουθο φάσμα ΦΥ ενός δείγματος Αργύρου. α) Ποιές από τις



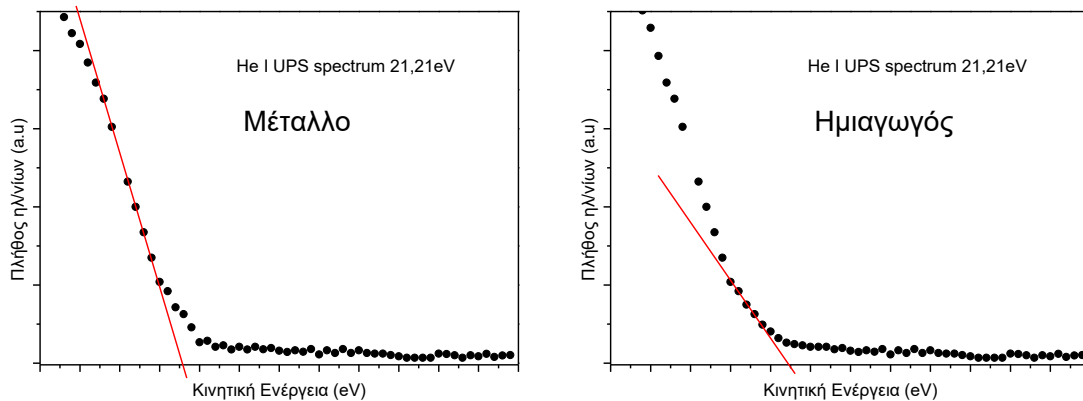
Ενέργεια Σύνδεσης (eV)

κορυφές του φάσματος δίνουν πληροφορίες για την πυκνότητα καταστάσεων στη ζώνη σθένους; β) Ποια κορυφή αντιστοιχεί στη δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων; γ) Να υπολογιστεί το έργο εξαγωγής δ) Ποια περιμένετε να είναι η μορφή του φάσματος κοντά στην στάθμη Fermi; ε) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ενέργειας των ηλεκτρονίων. Λέγεται ότι στα μέταλλα η ζώνη σθένους και η ζώνη αγωγιμότητας επικαλύπτονται. Πως καταλαβαίνετε αυτή τη φράση; στ) Ποια από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους συμμετέχουν στην

αγωγιμότητα; ζ) Γράψτε την συνάρτηση της κατανομής Fermi-Dirac για το δείγμα Αργύρου. Για ποιές τιμές της ενέργειας ο βαθμός κατάληψης είναι 0,9 και 0,001 αντίστοιχα.

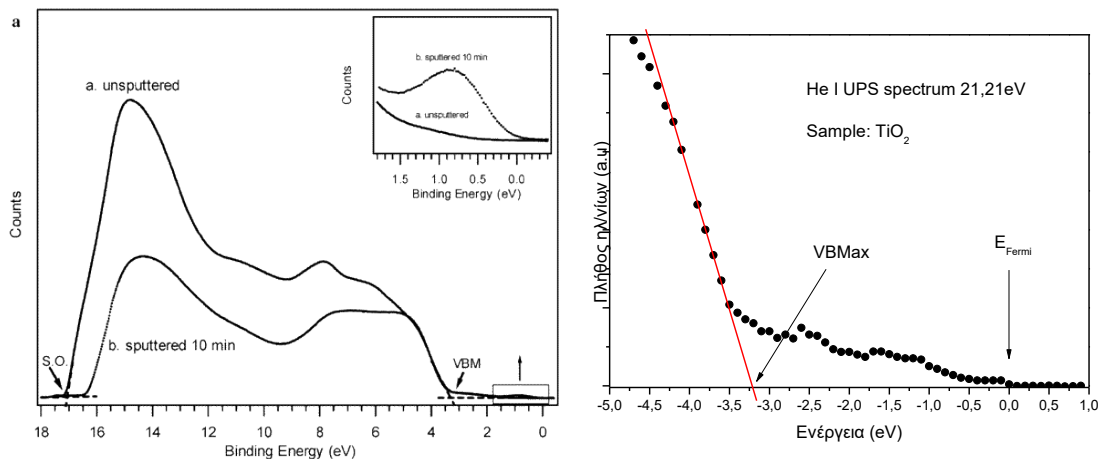
18. Μέταλλα-ημιαγωγοί-μονωτές. Διαφορές στο διάγραμμα ενέργειας των ηλεκτρονίων. Ενεργειακό χάσμα.

19. Διαφορές στο φάσμα ΦΥ στα μέταλλα και τους ημιαγωγούς.



Στην περίπτωση του μετάλλου τα ηλεκτρόνια με την μέγιστη κινητική ενέργεια προέρχονται από Στην περίπτωση ενός ημιαγωγού η στάθμη βρίσκεται μέσα στο Αυτό σημαίνει ότι η στάθμη Fermi ενός ημιαγωγού ηλεκτρόνια. Στην περίπτωση του ημιαγωγού τα ηλεκτρόνια με την μέγιστη κινητική ενέργεια προέρχονται από Η στάθμη Fermi ενός ημιαγωγού μπορεί να εντοπιστεί σε ένα φάσμα ΦΥ με τον εξής τρόπο: Φέρνουμε τον ημιαγωγό σε επαφή με ένα Τότε: Οι στάθμες των δύο υλικών Καταγράφουμε το φάσμα ΦΥ του και έτσι εντοπίζουμε την στάθμη του

20. Δίνεται το φάσμα UPS TiO_2 , He (I), 21.21eV. α) Ποιές από τις κορυφές του φάσματος δίνουν πληροφορίες για την πυκνότητα καταστάσεων στη ζώνη σθένους; β) Ποια κορυφή αντιστοιχεί στη δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων; γ) Να ερμηνεύσετε τη μείωση της έντασης της κορυφής στις χαμηλές ενέργειες μετά την ιοντοβολή. δ) Να υπολογιστεί το έργο εξαγωγής πριν και μετά την ιοντοβολή. ε) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ενέργειας των ηλεκτρονίων εάν είναι γνωστό ότι το ενεργειακό χάσμα του TiO_2 είναι 3,3eV. Να υπολογιστούν: η ενέργεια ιονισμού (από το μέγιστο της ζώνης σθένους έως την στάθμη κενού) και η ηλεκτροσυγγένεια (απόσταση του ελάχιστου της ζώνης αγωγιμότητας έως τη στάθμη κενού).



Διάλεξη 3

Ατομικό μοντέλο Bohr. Υπόθεση de Broglie. Πηγάδι δυναμικού.

$$\hbar = 6,58 \times 10^{-16} eV - sec \quad \hbar = 1,05 \times 10^{-34} \text{Joule} - sec$$

$$h = 4,14 \times 10^{-15} eV - sec \quad h = 6,63 \times 10^{-34} \text{Joule} - sec$$

$$q_e = 1,6 \times 10^{-19} \text{Cb}, \quad m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{kg}, \quad \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$$

$$k_B = 8,62 \times 10^{-5} eV/Kelvin \quad k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{Joule/Kelvin}$$

$$(k_B T)_{300 \text{ Kelvin}} = 25 \text{meV}$$

1. Το ατομικό μοντέλο του Bohr απεικονίζει το άτομο του Υδρογόνου σαν ένα μικρό θετικά φορτισμένο πυρήνα γύρω από τον οποίο κινείται ένα ηλεκτρόνιο σε κυκλική τροχιά. Ποιο είναι το πρόβλημα αυτής της περιγραφής;

2. Εξηγήστε γιατί η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του Υδρογόνου είναι

$$E_{ολ} = K + U = \frac{1}{2} m v^2 - k \frac{e^2}{r}. \text{ Εξηγήστε τη σημασία κάθε συμβόλου.}$$

3. Ξεκινήστε από την εξίσωση $F_K = F_{Cb} \Rightarrow \frac{m v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$. Τι λέει η εξίσωση αυτή;

$$\text{Υπολογίστε την ταχύτητα και στη συνέχεια αποδείξτε ότι } K = \frac{m v^2}{2} = -\frac{1}{2} U.$$

4. Αποδείξτε ότι η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του Υδρογόνου είναι:

$$E_{ολ} = \frac{1}{2}U = -\frac{1}{2}k \frac{e^2}{r}.$$

5. Ο de Broglie είχε την άποψη πως η μάζα ηρεμίας του φωτονίου δεν είναι μηδενική αλλά έχει κάποια πολύ μικρή πεπερασμένη τιμή, οπότε δεν υπήρχε λόγος να μην του μοιάζει το ηλεκτρόνιο το οποίο έχει πολύ μικρή μάζα επίσης.

Φωτόνιο	Ηλεκτρόνιο
$p = \frac{h}{\lambda}$	
$m_0 = 0$	$m_0 = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kgr}$

6. Η προφανής αντίδραση στην εικόνα του ηλεκτρονίου σαν κύμα ήταν η εξής: Εάν τα ηλεκτρόνια είναι κύματα, γιατί δεν παρατηρούμε τα συνηθισμένα φαινόμενα των κυμάτων όπως η περίθλαση; Απαντήστε για λογαριασμό του de Broglie με το εξής παράδειγμα: υπολογίστε το μήκος κύματος μιάς μπάλας μάζας $m = 1 \text{ kgr}$.
7. Ένα ηλεκτρόνιο επιταχύνεται από μια διαφορά δυναμικού ίση με $V = 5 \text{ Volt}$. Πόση ταχύτητα αποκτά το ηλεκτρόνιο; Πόση ορμή; Να υπολογιστεί το μήκος κύματος του ηλεκτρονίου. Με πόσο μικρά σωματίδια πρέπει να αλληλεπιδράσει το ηλεκτρόνιο ώστε να φανούν οι κυματικές του ιδιότητες;
8. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος για τα εξής 'σωματίδια'. α) ηλεκτρόνιο ενέργειας 4eV β) φωτόνιο ενέργειας 4eV.

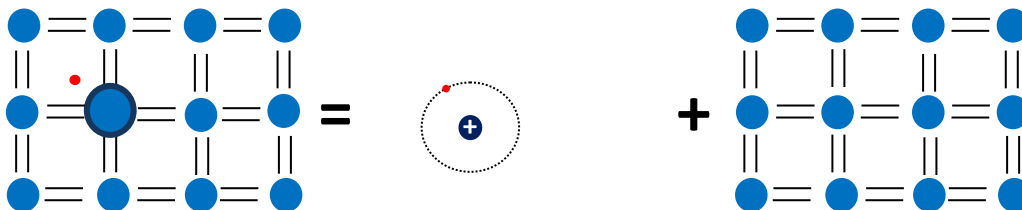
9. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος de Broglie λόγω της θερμικής κίνησης των ηλεκτρονίων σε θερμοκρασία 300°K στον Νάτριο.

10. Η ενέργεια Fermi του νατρίου είναι $3,24\text{eV}$. Εάν όλη η ενέργεια ενός e που βρίσκεται στην επιφάνεια Fermi είναι κινητική α) Να υπολογιστεί το μήκος κύματος λ_F β) Να υπολογιστεί η ταχύτητα v_F

11. Χρησιμοποιήστε την έκφραση της ταχύτητας από την ερώτηση 3 και την υπόθεση de Broglie για να υπολογίσετε τις ακτίνες των τροχιών του ηλεκτρονίου στο άτομο του Υδρογόνου.

12. Υπολογίστε την ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε τροχιά εισάγοντας την έκφραση της ακτίνας στην εξίσωση της ολικής ενέργειας (ερώτηση 4)

13. Ο πυρήνας του ατόμου του πυριτίου περιέχει 14 πρωτόνια. Ο πυρήνας του ατόμου του φωσφόρου περιέχει 15 πρωτόνια. Που θα βρίσκεται το επιπλέον ηλεκτρόνιο που προστέθηκε στη μήτρα πυριτίου από το άτομο φωσφόρου;



14. Σχεδιάστε σε ένα τετραγωνικό πηγάδι δυναμικού τις ενέργειες των τριών πρώτων τροχιών του ατόμου του Υδρογόνου και βρείτε ποιες ενέργειες μπορεί να απορροφήσει.

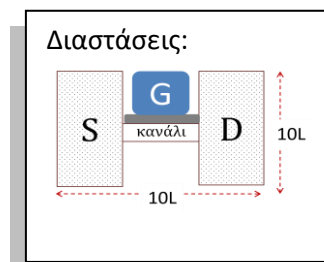
15. Μια ελεύθερη σπή και ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο αλληλεπιδρούν μέσω ηλεκτροστατικής έλξης Coulomb. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από την σπή σαν αυτή να ήταν ένας πυρήνας Υδρογόνου. Υπολογίστε την ακτίνα και την ενέργεια του εξιτονίου στο πυρίτιο.

16. Ηλεκτρονικές διατάξεις και οι διαστάσεις τους

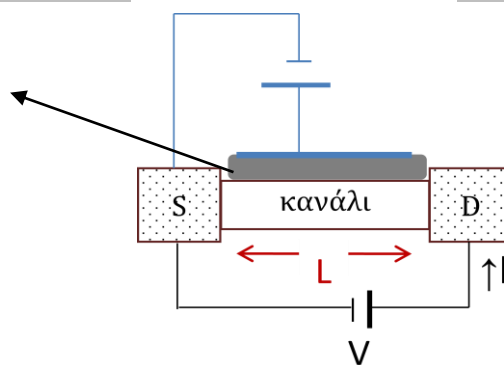
Διαστάσεις		Ηλεκτρονικές διατάξεις	Τύπος αγωγής
$1\mu m = 10^{-6} m$	μερικές χιλιάδες άτομα στη σειρά	Διατάξεις μικροηλεκτρονικής (δίοδοι, transistors)	Αγωγιμότητα με σκέδαση
$1nm = 10^{-9} m$	Σε $1nm$ έχω 4-5 άτομα	Νανοδιατάξεις έως $50nm$	Βαλλιστική αγωγιμότητα
o $1A = 0,1nm$	Ατομικές αποστάσεις 2-3A		κυματική φύση ηλεκτρονίου

17. Transistor MOSFET: Η διάταξη με το μεγαλύτερο σουξέ!!!!!!

Αγωγιμότητα: $G = \frac{I}{V}$.
 Κατάσταση ON: $R = 10k\Omega$
 Κατάσταση OFF: $R = 100M\Omega$
 με $\Delta V_G \sim 1Volt$.



Πάχος οξειδίου:
 $t_{ox} = \frac{L}{50}$



Πόσα transistors χωρούσε ένα ολοκληρωμένο με διαστάσεις $1cm \times 1cm$ πριν 30 χρόνια όταν $L = 1\mu m$; Ποιό ήταν το πάχος του οξειδίου;

Πόσα transistors χωράει σήμερα ένα ολοκληρωμένο με διαστάσεις $1cm \times 1cm$ όταν $L = 0,1\mu m$; Ποιό είναι σήμερα το πάχος του οξειδίου; Τι προβλήματα δημιουργούνται;

18. Ενεργός μάζα: Σε ένα αγωγό εφαρμόζεται τάση. Η δύναμη που δέχεται ένα ηλεκτρόνιο έχει δύο συνιστώσες:



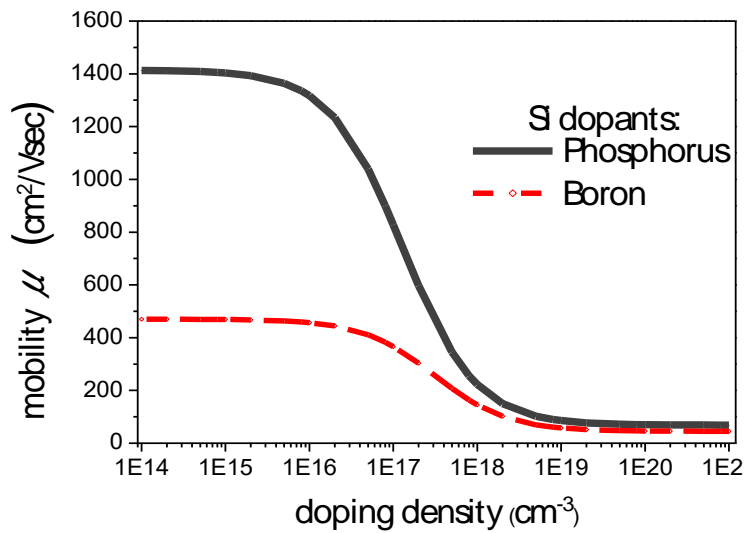
Si: $m^*=0,26m$

InP: $m^*=0,073m$

19. Σύμφωνα με το μοντέλο του αερίου των ελευθέρων ηλεκτρονίων, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των μετάλλων συμπεριφέρονται όπως τα άτομα ενός αερίου. Εκτελούν μια κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις που οφείλεται στη θερμοκρασία του υλικού. Να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα των ηλεκτρονίων λόγω της θερμικής κίνησης.

20. Αγωγή με σκεδάσεις. Που σκεδάζονται τα ηλεκτρόνια; Χρόνος εφησυχασμού τ . Μήκος ελεύθερης διαδρομής l_e .

21. Μπορούμε να βρούμε πειραματικά τα τ και l_e ; Ευκινησία μ , μονάδες



22. α) Να υπολογιστεί το μήκος ελεύθερης διαδρομής του ηλεκτρονίου στο InP σε θερμοκρασία δωματίου. Η ενεργός μάζα του ηλεκτρονίου είναι $m^*=0,077m_e$. Δίνονται $m_e=9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$, $k_B=1,38 \times 10^{-23} \text{Joule/Kelvin}$, ευκινησία των ηλεκτρονίων στο InP $\mu=0,46 \text{m}^2/\text{Volt-sec}$, φορτίο ηλεκτρονίου $q=1,6 \times 10^{-19} \text{Cb}$. β) Εάν η πλεγματική σταθερά είναι $\sim 0,6 \text{nm}$, πόσες πλεγματικές σταθερές είναι το μήκος ελεύθερης διαδρομής; Πόσο πρέπει να είναι το μήκος ενός μικρού αγωγού InP έτσι ώστε να γίνεται η αγωγή βαλλιστικά;