

Πέντε διδακτικοί προβληματισμοί

Ατομικό μοντέλο Bohr

Τροχιακό

Αρχές Ηλεκτρονιακής Δόμησης

(4ος προβληματισμός)

Ορθές οριοθετήσεις - Ανάλυση λαθών

Προτάσεις διδασκαλίας

Ερμηνεύει ο

Θρασύβουλος Κων. Μαχαίρας
Φυσικός
Γενικού Λυκείου Αγριάς Πηλίου

Τρίτη 4 Φεβρουαρίου 2014

4ος διδακτικός προβληματισμός

*(... με αφορμή τα όσα αναφέρονται
στο βιβλίο «Χημεία Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου»)*

***Πόσο καλά αποδίδεται η αξία
των κβαντικών αριθμών στο
σχολικό βιβλίο Χημείας Γ' Λυκείου;***

Σχολικό βιβλίο:

«Ο κύριος κβαντικός αριθμός καθορίζει το μέγεθος του ηλεκτρονιακού νέφους (ή τροχιακού)»

Απάντηση:

Πριν αναφερθώ στην πρόταση του σχολικού [ας υπενθυμίσω:](#)

1) Στους προβληματισμούς 2 & 3 σχολιάσαμε το ότι η φράση «ηλεκτρονιακό νέφος» δεν έχει κανένα νόημα. Και είναι ανεπίτρεπτο λάθος να ταυτίζεται τώρα με το αυστηρά ορισμένο «τροχιακό», ενώ σε προηγούμενες σελίδες ταυτιζόταν με τις επίσης αυστηρά ορισμένες «πυκνότητα πιθανότητας» και «πιθανότητα».

Όλη αυτή η σύγχυση δε βοηθά τη διδασκαλία μας.

2) *Αν μιλήσουμε κυριολεκτικά*

Δεν υπάρχουν «μεγάλα» και «μικρά» τροχιακά με την έννοια του μεγάλου και μικρού όγκου.

Όλα τα τροχιακά γενικώς, θεωρητικά τουλάχιστον, καλύπτουν σχεδόν όλο το χώρο.

Ας μην ξεχνάμε ότι ηλεκτρόνια ατόμων του σώματός σας, τα οποία βρίσκονται σε διάφορα τροχιακά, έχουν έστω και απειροελάχιστη πιθανότητα να βρεθούν, θεωρητικά τουλάχιστον, στο δικό μου σώμα ή στην Αθήνα ή ακόμη και κάπου στην Ιταλία.

3) Ο κβαντικός αριθμός n εμπλέκεται καθοριστικά στην πιθανότητα και στην ενέργεια

- i) Για συγκεκριμένο ℓ , καθώς μεγαλώνει ο n μεγαλώνει και η πιθανότητα των όλο και πιο απομακρυσμένων από τον πυρήνα θέσεων να εντοπιστεί σε αυτές το ηλεκτρόνιο.*
- ii) Για συγκεκριμένο n , καθώς μεγαλώνει ο ℓ μεγαλώνει και η πιθανότητα των όλο και πιο απομακρυσμένων από τον πυρήνα θέσεων να εντοπιστεί σε αυτές το ηλεκτρόνιο.*
- iii) Στο άτομο του υδρογόνου η ενέργεια του μοναδικού του ηλεκτρονίου εξαρτάται αποκλειστικά από τον n . Σε γενικότερη περίπτωση η ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από τους n και ℓ με πολύ καλή προσέγγιση.*

Έχοντας υπόψη τις προηγούμενες υπενθυμίσεις 1), 2) και 3) μπορούμε τώρα να ξεκαθαρίσουμε τι εννοούμε με τη φράση «μέγεθος τροχιακού» ώστε να τεκμηριώσουμε μια απάντηση προς το σχολικό βιβλίο

Τα τροχιακά γενικά «πιάνουν» όλο το χώρο και συνεπώς όταν μιλάμε για το «μέγεθός» τους δεν αναφερόμαστε στον όγκο που καταλαμβάνουν (στον χώρο δηλαδή), αλλά στην πιθανότητα και στην ενέργεια με την οποία συνδέονται.

Πιο μεγάλος κβαντικός αριθμός n σημαίνει πιο μεγάλο «μέγεθος τροχιακού», αλλά με την έννοια ότι είναι

α) πιο μεγάλη από πριν η πιθανότητα των θέσεων που βρίσκονται μακριά από τον πυρήνα να εντοπιστεί σε αυτές το ηλεκτρόνιο

β) πιο μεγάλη η ενέργεια του ηλεκτρονίου

(Ας μην ξεχνάμε όμως ότι τα παραπάνω εξαρτώνται γενικά και από τον ℓ . Ειδικά στην περίπτωση ίδιου n , ο κβαντικός αριθμός ℓ διαφοροποιεί μεταξύ τους αρκετές καταστάσεις είτε σχετικά με την ενέργεια είτε με την στροφορμή κλπ)

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε το «μέγεθος» του τροχιακού $2s$ είναι «μικρότερο» από εκείνο του τροχιακού $2p$ αν και έχουν τον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό n .

Αυτό σημαίνει ότι

- α)** σε απομακρυσμένες θέσεις από τον πυρήνα υπάρχει πιο μεγάλη πιθανότητα να εντοπιστεί ηλεκτρόνιο $2p$ παρά $2s$*
- β)** η ενέργεια του ηλεκτρονίου $2p$ είναι πιο μεγάλη από την ενέργεια του ηλεκτρονίου που βρίσκεται στο $2s$*

***Όμως το σχολικό βιβλίο** (χωρίς να έχει ξεκαθαρίσει τι εννοεί με τη φράση «μέγεθος τροχιακού») θεωρεί ότι τα τροχιακά $2s$ και $2p$ έχουν το ίδιο μέγεθος γιατί έχουν τον ίδιο n .*

Θα προτιμούσα, μαζί με το «μέγεθος» του τροχιακού, να τονιζόταν για τον κβαντικό αριθμό n (με πιο μεγάλη όμως έμφαση) «αυτό» με το οποίο πρωτίστως συνδέεται και το οποίο αποτελεί κορυφαίο φυσικό μας μέγεθος και καθοριστικό στοιχείο του Σύμπαντος:

Η ενέργεια!

Σχολικό βιβλίο:

«Ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός l είναι ενδεικτικός της άπωσης μεταξύ των ηλεκτρονίων»

Απάντηση:

Το υδρογόνο και τα υδρογονοειδή «άτομα» (ιόντα) έχουν ένα μόνο ηλεκτρόνιο. Άρα δεν υπάρχει άπωση μεταξύ ηλεκτρονίων, αλλά ο l υπάρχει.

Η τεράστια αξία του κβαντικού αριθμού l είναι η εμπλοκή του σε σημαντικά φυσικά μεγέθη
*α) Καθορίζει πρωτίστως, και με αδιανόητο μέχρι χτες τρόπο, την **τροχιακή στροφορμή** του ηλεκτρονίου η οποία είναι ένα **καταπληκτικό κβαντικό μέγεθος***

β) Εμπλέκεται στην ενέργεια των ηλεκτρονίων στα άτομα με πολλά ηλεκτρόνια

γ) Εμπλέκεται στον υπολογισμό της πιθανότερης απόστασης (ή έστω «κατά μέσο όρο απόστασης») από τον πυρήνα που μπορούμε να «εντοπίσουμε» το ηλεκτρόνιο κ.λπ.

Παρεμπιπτόντως

i) Όταν λέμε ότι ο δευτερεύων ℓ είναι ενδεικτικός της άπωσης μεταξύ των ηλεκτρονίων σκοτεινιάζουμε το ρόλο του

ii) Οι φράσεις κύριος και δευτερεύων κβαντικός αριθμός δεν αποδίδουν την αξία των n και ℓ . Όλοι οι κβαντικοί αριθμοί είναι σημαντικοί. Ο ℓ συνδεδεμένος με το κορυφαίο μέγεθος στροφορμή δεν είναι δευτερεύων σε σχέση με τον n

Σχολικό βιβλίο Χημείας:

«Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός m_l καθορίζει τον προσανατολισμό του ηλεκτρονιακού νέφους σε σχέση με τους άξονες x, y, z . Το όνομα «μαγνητικός» προέρχεται από το γεγονός ότι το ηλεκτρόνιο ως κινούμενο φορτίο που είναι δημιουργεί μαγνητικό πεδίο καθορισμένης φοράς»

Απάντηση:

Είπαμε ότι η φράση «ηλεκτρονιακό νέφος» χρησιμοποιείται από το σχολικό βιβλίο όποτε νάναι, όπου νάναι και για ό,τι νάναι με αποτέλεσμα να προκαλούνται συγχύσεις.

*Τι είναι τελικά αυτό το (διάχυτο) «ηλεκτρονιακό νέφος»;
Είναι ηλεκτρόνιο που κινείται σα τρελό και δίνει εντύπωση νέφους ή μήπως κάποια κατανομή φορτίου;*

*Μήπως το «ηλεκτρονιακό νέφος» είναι σχηματική
απόδοση τροχιακού ή κάποιας πιθανότητας ή της
πυκνότητας πιθανότητας; Μήπως είναι όλα μαζί τα
παραπάνω όπως λανσάρεται από το σχολικό;
Γιατί χρειάζεται η πομπώδης φράση «ηλεκτρονιακό
νέφος»; Πώς, γιατί και κατά πού προσανατολίζεται
το νέφος; Και εν τέλει αφού ξέρουμε ότι ένα φορτίο
κινείται δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο γιατί
το σχολικό βιβλίο ένιωσε την ανάγκη να το τονίσει
και μάλιστα συνδέοντάς το με κβαντικό αριθμό;*

Γιατί όλη αυτή η σύγχυση για ένα άχρηστο όνομα;

Ας δούμε πώς έχουν τα πράγματα:

Γενικά όταν ένα άτομο είναι εκτός μαγνητικού πεδίου οι ιδιοτιμές της ενέργειας E_{nl} των ηλεκτρονίων του (οι επιτρεπόμενες ενέργειες δηλαδή) εξαρτώνται και από τον n και από τον ℓ .

Η κβαντική τροχιακή στροφορμή των κινούμενων και φορτισμένων ηλεκτρονίων των ατόμων προσδίδει στα ηλεκτρόνια μαγνητική ροπή η οποία, όταν το άτομο βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}$, αλληλεπιδρά με το $\vec{B}$ και αλλάζει τις ενέργειες E_{nl} των ηλεκτρονίων κατά τις ιδιοτιμές του αντίστοιχου τελεστή.

Σε μια πιο γενική από το άτομο του H περίπτωση

Όταν ένα άτομο βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$ οι ενέργειες των ηλεκτρονίων επηρεάζονται από το πεδίο και αλλάζουν από E_{nl} σε

$$E_{nlm_l} = E_{nl} + \mu_B B m_l$$

όπου $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$ η μαγνητόνη του Bohr

και $m_l = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$

ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός

Η παρουσία του μαγνητικού πεδίου άρει τον
περιστροφικό εκφυλισμό των κυματοσυναρτήσεων
γύρω από τον z άξονα και από κάθε ενεργειακή
στάθμη l προκύπτουν $2l+1$ ισαπέχουσες στάθμες
ενέργειας, τον προσδιορισμό των οποίων αποδίδουμε
ΑΜΕΣΑ με τον τρίτο κβαντικό αριθμό m_l (*)

(*) Στο σημείο αυτό εξέτασης, και για λόγους κατανόησης όσων
λέμε, έχουμε αγνοήσει την επίδραση του μαγνητικού πεδίου
στο σπιν και τους συνδυασμούς του (αλληλεπίδραση) με την
τροχιακή στροφορμή.

Με απλά λόγια:

Για δεδομένα n και l , όταν το άτομο μπει μέσα σε μαγνητικό πεδίο η ενεργειακή στάθμη που αντιστοιχεί στο l σπάει σε $2l+1$ στάθμες.

Π.χ. η μία ενεργειακή στάθμη του $l=1$ (εκφυλισμός) σπάει σε τρεις στάθμες (άρση εκφυλισμού) που περιγράφονται αποκλειστικά από τον κβαντικό αριθμό m_l .

Για τον ξεχωριστό λόγο-ρόλο που έχει ο m_l στις τιμές της ενέργειας του ηλεκτρονίου όταν το άτομο βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ονομάζεται

«μαγνητικός κβαντικός αριθμός»

*Όσα αναγράφονται στη σελίδα του
σχολικού βιβλίου*

*Χημεία Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου.
που θα δείτε στην επόμενη διαφάνεια
δεν έχουν καμιά επιστημονική βάση.
Είναι επιεικώς απαράδεκτα!*

Ο κβαντικός αριθμός του spin (m_s) παίρνει τιμές ή $+1/2$ ή $-1/2$, είναι δηλαδή ανεξάρτητος από τις τιμές των άλλων κβαντικών αριθμών.

➤ Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin καθορίζει την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου (spin).

Δηλαδή, για τιμή $m_s = +1/2$, λέμε ότι έχουμε παράλληλο spin ή spin προς τα πάνω ($\uparrow$), ενώ για τιμή $m_s = -1/2$, λέμε ότι έχουμε αντιπαράλληλο spin ή spin προς τα κάτω ($\downarrow$). Σε κάθε τροχιακό δε μπορούμε να έχουμε περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια. Μάλιστα το ένα περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του αντίθετα από το άλλο, δηλαδή έχουν αντίθετη ιδιοπεριστροφή (spin). Τέλος να παρατηρήσουμε ότι ο κβαντικός αριθμός του spin δεν συμμετέχει στη διαμόρφωση της τιμής της ενέργειας του ηλεκτρονίου, ούτε στον καθορισμό του τροχιακού.

Συμπερασματικά, οι τέσσερις κβαντικοί αριθμοί περιγράφουν πλήρως την κατάσταση του ηλεκτρονίου στο άτομο. Δηλαδή,

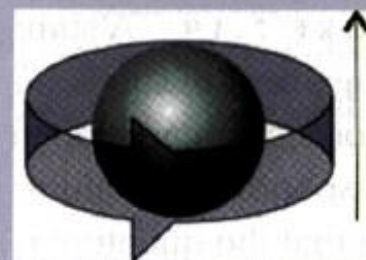
οι τέσσερις κβαντικοί αριθμοί (n, l, m_l, m_s) προσδιορίζουν, αντίστοιχα:

- τη στιβάδα (φλοιό)
- την υποστιβάδα (υποφλοιό)
- το τροχιακό και
- το spin

του ηλεκτρονίου



$m_s = -1/2$



$m_s = +1/2$

Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινηθεί γύρω από τον άξονά του (spin ηλεκτρονίου), είτε με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, είτε αντίστροφα. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε $m_s = -1/2$ και στη δεύτερη περίπτωση $m_s = +1/2$.

**Όλη η σελίδα αυτή είναι μέσα στα λάθη.
Αλλά το σχήμα κι η λεζάντα που έβαλα σε κόκκινο
πλαίσιο είναι επιεικώς ΑΝΟΗΣΙΕΣ!**

Στο διπλανό αντιεπιστημονικό και συνεπώς απορριπτέο σχήμα το ηλεκτρόνιο παριστάνεται ως μπαλάκι που γυρνά γύρω από άξονά του (γύρω από τον εαυτό του).

Ας αναφέρουμε 3 από τους λόγους για τους οποίους η παραπάνω εικόνα του σχολικού βιβλίου είναι λανθασμένη



1ος λόγος:

Οι σύγχρονες θεωρίες της Φυσικής χειρίζονται το ηλεκτρόνιο ως στοιχειώδες κβαντικό σωματίδιο, κι άρα ως σημειακό αντικείμενο.

Δηλαδή ως ένα κβαντικό «πλάσμα» που δεν έχει έκταση και συνεπώς δεν έχει διαστάσεις.

Τα πειράματα υψηλών ενεργειών δείχνουν ότι η ακτίνα (διαστάσεις) του ηλεκτρονίου, ΑΝ ΥΠΑΡΧΕΙ, πρέπει να είναι μικρότερη από 10^{-21} m

Οπότε κάποιοι απλοί υπολογισμοί:

***Έστω ότι το ηλεκτρόνιο είναι σφαίρα με ακτίνα 10^{-21} m .
Με δεδομένο ότι η μάζα του είναι $m \approx 10^{-30} \text{ Kgr}$ και η
στροφορμή του $S_z = \hbar / 2$, τα σημεία που βρίσκονται στον
«ισημερινό» του ηλεκτρονίου θα έπρεπε να κινούνται
με ταχύτητα εκατομμύρια φορές την ταχύτητα του φωτός!***

***Με πειραματικό δεδομένο ότι η ακτίνα του ηλεκτρονίου,
αν υπάρχει, είναι σίγουρα μικρότερη από 10^{-21} m , η
ταχύτητα του «ισημερινού», αν το ηλεκτρόνιο ήταν
μπαλάκι, θα έπρεπε να ήταν ακόμη μεγαλύτερη!***

2ος λόγος:

Αν το σπιν του ηλεκτρονίου οφειλόταν στο ότι το ηλεκτρόνιο είναι μπαλάκι (σφαίρα) που γυρίζει γύρω από τον άξονά του τότε οι συγκρούσεις του με άλλα ηλεκτρόνια-μπαλάκια έπρεπε να διεγείρουν το σπιν του σε άλλες τιμές, όπως γίνεται με όλες τις άλλες στροφορμές.

Τέτοιο φαινόμενο όμως δεν έχει ποτέ παρατηρηθεί

Το ηλεκτρόνιο πάντα, σε κάθε φαινόμενο και σε κάθε πείραμα, εμφανίζεται με συνιστώσα spin $S_z = \pm \hbar / 2$

3ος λόγος:

Για να έρθει ένα ηλεκτρόνιο στην ίδια «κατάσταση» και να «παρθεί» στους υπολογισμούς μας ως ίδιο με πριν, τουτέστιν να αποκτήσει την ίδια συμπεριφορά με «πριν», πρέπει να «περιστραφεί» κατά 720 μοίρες. Δηλαδή πρέπει να «περιστραφεί» κατά δύο (κλασικές) φορές και όχι μία όπως κάνουν όλα τα πράγματα της καθημερινότητάς μας, άρα και τα μπαλάκια.

Τέτοιου είδους «περιστροφή» δεν εμπίπτει σε καμιά (κλασική) νευτώνεια εμπειρία μας. Μόνο ένα κβαντικό πλάσμα μπορεί να την έχει

Συνεπώς η διπλανή εικόνα όπου το ηλεκτρόνιο είναι περιστρεφόμενο μπαλάκι δεν έχει επιστημονική βάση Διδακτικά είναι ΑΠΑΡΑΔΕΚΤΗ!

Τα κβαντικά σωματίδια (πλάσματα) δεν εικονοποιούνται και δε μπαίνουν σε κλασικές αποτυπώσεις.

Τα παιδιά δεν αξίζουν τέτοια α-νόητη «διδασκαλία»

Δικαιούνται και τη Γνώση και τον Πολιτισμό που παρέχει η Φυσική της εποχής τους



Σχολικό βιβλίο:

«Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin καθορίζει την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου»

Απάντηση:

Το όνομα «μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin» είναι μια παλιά ξεπερασμένη πλέον έκφραση. Για όλα τα κβαντικά σωματίδια (θεμελιώδη και μη) σήμερα χρησιμοποιείται μόνο η λέξη «spin» (σπιν).

Το spin των κβαντικών πλασμάτων δεν έχει να κάνει απολύτως τίποτε ούτε με το άτομο, ούτε με εξωτερικά μαγνητικά πεδία, ούτε με ιδιοπεριστροφές, ούτε με μπαλάκια, ούτε με κλασικά διανύσματα κλπ

Όπως είπαμε και προηγουμένως το spin δεν είναι ιδιοπεριστροφή γιατί τα θεμελιώδη κβαντικά σωματίδια (π.χ. ηλεκτρόνιο) δεν έχουν ακτίνα για να γυρίζουν γύρω από τον εαυτό τους. Πειραματικά και θεωρητικά δε φαίνεται να «πιάνουν» χώρο, να έχουν όγκο. Όμως...

Τα «ά-χωρα» αυτά πλάσματα υπάρχουν κι έχουν spin

Το spin είναι εγγενές στοιχείο των κβαντικών σωματιδίων, όπως είναι το φορτίο κι η μάζα τους. Είναι στοιχείο της ταυτότητά τους, δηλαδή της συμπεριφοράς τους, και έχει ακριβώς τα ίδια φαινομενολογικά (πειραματικά) χαρακτηριστικά με εκείνα της κβαντικής τροχιακής στροφορμής (γι' αυτό και συνδυάζονται μεταξύ τους).

Σχολικό βιβλίο

«Για τιμή $m_s = +1/2$ λέμε ότι έχουμε παράλληλο spin ή spin προς τα πάνω, ενώ για τιμή $m_s = -1/2$ λέμε ότι έχουμε αντιπαράλληλο spin ή spin προς τα κάτω»

Απάντηση:

Ο όρος «αντιπαράλληλο» δεν έχει νόημα πουθενά, ούτε βέβαια για το κβαντικό spin. Είναι αδόκιμος και αναχρονιστικός.

Ο όρος «παράλληλο» έχει νόημα μόνο όταν υπάρχει διεύθυνση αναφοράς, ενώ οι όροι «πάνω» και «κάτω» έχουν νόημα αλλά κλασικά συνδέονται με το πεδίο βαρύτητας.

Για να καταλάβουμε τι σημαίνουν οι παραπάνω τρεις δόκιμοι όροι για ένα κβαντικό σωματίδιο θα πρέπει να δούμε τις συμβάσεις που κάνουμε για το πρόσημο στην τιμή του m_s

Τιμές για το μέτρο και συμβάσεις για τη φορά του σπιν

**Οι κβαντικές στροφορμές
«απεχθάνονται» τους άξονες.**

Όχι όμως και οι συνιστώσες τους.

Όταν γράφουμε $m_s = \pm 1/2$ για το σπιν ενός κβαντικού σωματιδίου, π.χ. ηλεκτρόνιο, εννοούμε τούτα:

α) Ο κβαντικός αριθμός του σπιν του ηλεκτρονίου είναι $s = 1/2$

β) Το μέτρο του σπιν του ηλεκτρονίου είναι $|\vec{S}| = \sqrt{3} \hbar/2$

γ) Η «προβολή» του σπιν του ηλεκτρονίου στον άξονα z έχει μέτρο $\hbar/2$ και φορά ή προς τα θετικά του z οπότε $m_s = +1/2$ ή προς τα αρνητικά οπότε $m_s = -1/2$.

Το «πρόβλημα» του άξονα z:

Ο άξονας z και η θετική του φορά γενικά επιλέγονται αυθαίρετα ώστε να γίνει όσο πιο εύκολη (αν αυτό είναι δυνατό) η θεωρητική περιγραφή του φαινομένου.

Το σημαντικό όμως δεν είναι η σύμβαση που κάνουμε κατά την επιλογή του z και ποιο σπιν θα θεωρήσουμε ως πάνω και ποιο ως κάτω, αλλά το ότι έχουμε να χειριστούμε ηλεκτρόνια, δηλαδή θεμελιώδη κβαντικά σωματίδια με εγγενή στροφορμή η οποία εκδηλώνεται με συγκεκριμένες διακριτές καταστάσεις.

Οι καταστάσεις αυτές της εγγενούς στροφορμής στην περίπτωση του ηλεκτρονίου είναι δύο. Στη μία κατάσταση η συνιστώσα του σπιν, σε οποιονδήποτε άξονα κι αν θεωρήσουμε ως z, έχει υποχρεωτικά φορά προς τα θετικά και στην άλλη κατάσταση προς τα αρνητικά. Αυτό εξασφαλίζει την αναγκαία συνέπεια κατά την θεωρητική και πειραματική αντιμετώπιση του σπιν και των κβαντικών καταστάσεών του.

.....

Χωρίς αυστηρή αναλογία ας δούμε τις δύο καταστάσεις του εγγενούς σπιν του ηλεκτρονίου, όπως π.χ. τα δύο είδη τού επίσης εγγενούς ηλεκτρικού του φορτίου (θετικό-αρνητικό)

Για το σπιν λοιπόν ισχύει αυτή η θαυμάσια, και αδιανόητη μέχρι χτες, κβαντική «στροφορμική» αυθαιρεσία που αναφέραμε:

Διάλεξε όποιον άξονα θες για z . Δε θα βρεις ποτέ το σπιν πάνω στον άξονα που πήρες. Όμως η συνιστώσα του σπιν επάνω στον τυχαίο άξονα z που πήρες θα έχει πάντα το ίδιο μέτρο $\hbar/2$.

Θα έχει δηλαδή πάντα δύο «διανυσματικές» δυνατότητες ή $+\hbar/2$ ή $-\hbar/2$
(φορά είτε προς τα αρνητικά είτε προς τα θετικά)

Η επόμενη αυθαιρεσία (σύμβαση) με το σπιν δεν έχει την ιδιαίτερη θαυμαστή αξία της προηγούμενης:

Λέμε «ηλεκτρόνιο με $m_s = +1/2$ » και εννοούμε «ηλεκτρόνιο με σπιν προς τα πάνω», δηλαδή ηλεκτρόνιο με την z- συνιστώσα τού σπιν του να είναι $+\hbar/2$

Λέμε «ηλεκτρόνιο με $m_s = -1/2$ » και εννοούμε «ηλεκτρόνιο με σπιν προς τα κάτω», δηλαδή ηλεκτρόνιο με την z- συνιστώσα τού σπιν του να είναι $-\hbar/2$

(Αποφεύγω τους όρους πάνω και κάτω γιατί είναι άστοχοι έως παραπλανητικοί. Οι φράσεις «ηλεκτρόνιο με $m_s = +1/2$ ή $m_s = -1/2$ » είναι απόλυτα κατατοπιστικές)

Ερώτηση

Πότε είναι απολύτως σαφής μια φράση με το σπιν;

Απάντηση

Από όσα είπαμε φαίνεται ότι για να είναι απολύτως σαφής μια φράση που περιέχει σπιν όπως π.χ. η «ηλεκτρόνιο έχει $m_s = +1/2$ » πρέπει να αναφέρουμε το πείραμα ή το φαινόμενο όπου έγινε η σύμβαση κατά την επιλογή του άξονα z , κάτι που είναι πολύ καθοριστικό για το πρόσημο της τιμής του m_s . Ο άξονας z συνήθως επιλέγεται να έχει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (αν εμπλέκεται) κι άρα ένα καλό πείραμα αναφοράς είναι π.χ. εκείνο των Stern και Gerlach με το οποίο εξ άλλου ανακαλύφθηκε το σπιν του ηλεκτρονίου.

Στο πείραμα αναφοράς Stern-Gerlach λοιπόν

1. Ως θετική φορά του άξονα z επιλέχθηκε χοντρικά η φορά της έντασης $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου (λέμε χοντρικά γιατί το πεδίο του πειράματος ήταν ανομοιογενές, αλλά η αίσθηση της κατεύθυνσης που θέλαμε για τον z -άξονα ήταν προφανής)

2. Ηλεκτρόνια με τιμή κβαντικού αριθμού $m_s = +1/2$, δηλαδή «ηλεκτρόνια με σπιν προς τα πάνω», ήταν εκείνα που η z -συνιστώσα του σπιν τους είχε μέτρο $\hbar/2$ και φορά προς τα θετικά του z , δηλαδή κατά τη φορά του $\vec{B}$.

Τα ηλεκτρόνια αυτά, λόγω σπιν τους, είχαν μαγνητική ροπή χοντρικά αντίρροπη του $\vec{B}$ και συνεπώς στο ανομοιογενές πεδίο του πειράματος τα άτομα-φορείς τους απέκλιναν προς περιοχές όπου το πεδίο ήταν ασθενέστερο.

Ανάλογα ακριβώς ισχύουν για τα ηλεκτρόνια στα οποία αποδώσαμε τον κβαντικό αριθμό $m_s = -1/2$. Η φορά της συνιστώσας του σπιν τους στον άξονα z είναι προς τα αρνητικά δηλαδή αντίθετη εκείνης του $\vec{B}$

Αν το ηλεκτρόνιο ή δεν είναι μέσα σε μαγνητικό πεδίο ή πιο γενικά δεν έχει οριστεί άξονας z τότε ισχύουν όσα είπαμε:

Οι τιμές του $m_s = \pm 1/2$ σημαίνουν απλώς ότι υπάρχουν δύο καταστάσεις εγγενούς στροφορμής (σπιν) του ηλεκτρονίου. Στη μία κατάσταση η συνιστώσα του σπιν σε οποιονδήποτε άξονα κι αν θεωρήσουμε ως z έχει φορά προς τα θετικά και στην άλλη κατάσταση προς τα αρνητικά.

Σχολικό βιβλίο

«Το spin δε συμμετέχει στη διαμόρφωση της τιμής της ενέργειας του ηλεκτρονίου»

Απάντηση:

Το spin ενός ηλεκτρονίου δεν παύει να είναι στροφορμή φορτισμένου σωματιδίου κι άρα δεν παύει να συνδέεται με μαγνητική ροπή. Συνεπώς το spin επηρεάζει τις ενέργειες ανάλογα με το περιβάλλον που θα βρεθεί το σωματίδιο.

Οι αλλαγές αυτές στις τιμές της ενέργειας παρατηρούνται πειραματικά και λαμβάνονται ή όχι υπόψη μας ανάλογα με την επιδιωκόμενη ακρίβεια. Ο συνδυασμός π.χ. τροχιακής στροφορμής και spin αλλάζει την ενέργεια του ηλεκτρονίου

Σχολικό βιβλίο:

«οι τέσσερις κβαντικοί αριθμοί προσδιορίζουν

1) n : τη στιβάδα

3) m_l : το τροχιακό

2) l : την υποστιβάδα

4) m_s : το spin

του ηλεκτρονίου»

Απάντηση

Τροχιακό είναι άλλο όνομα για την κυματοσυνάρτηση (κβαντική κατάσταση) του ηλεκτρονίου η οποία προσδιορίζεται και από τους τρεις κβαντικούς αριθμούς n , l , m_l μαζί και όχι από τον m_l μόνο του, όπως λανθασμένα γράφει το σχολικό βιβλίο.

Ερώτηση

Επειδή λέμε τροχιακά s , τροχιακά p κλπ. θα μπορούσαμε να πούμε ότι το τροχιακό το προσδιορίζει μόνος του ο κβαντικός αριθμός l ;

Απάντηση

Όχι. Όπως είπαμε το τροχιακό είναι υπόθεση και των τριών κβαντικών αριθμών n , l , m_l μαζί.

Παρόλο αυτό όμως λέμε τροχιακά s και εννοούμε τροχιακά με $l=1$, λέμε τροχιακά p και εννοούμε $l=2$, d λέμε τα $l=3$ κλπ

Το γεγονός ότι με τις τιμές του κβαντικού αριθμού l ομαδοποιούμε τα τροχιακά δίνοντας ξεχωριστό όνομα σε κάθε ομάδα (s , p , d ...) αποδεικνύεται μια χρήσιμη τακτική σε αρκετές σημαντικές περιπτώσεις.

Για παράδειγμα ο υβριδισμός και γενικότερα η θεωρία του χημικού δεσμού μας αναγκάζουν να εστιάσουμε στη μορφή των τροχιακών, στη γεωμετρία τους. Αν δηλαδή είναι σφαιρική, αν έχει έντονες προτιμήσεις κατεύθυνσης κλπ. Η «χονδρική» γεωμετρία λοιπόν των τροχιακών και όχι το μέγεθος ή οι επιμέρους τους λεπτομέρειες παίζει σημαντικό ρόλο σε αρκετές θεωρητικές καλύψεις (π.χ. μοριακά τροχιακά). Όμως **τη γεωμετρία των τροχιακών την ελέγχει καθοριστικά ο κβαντικός αριθμός l** οπότε κατά την ομαδοποίηση στην κάθε τιμή του l παίρνει ένα πιο φιλικό και ιδιαίτερο όνομα. Τέλος όσον αφορά στους όρους στιβάδα και υποστιβάδα αυτοί εξυπηρετούν διάφορες σημαντικές κατηγοριοποιήσεις, ταξινομήσεις κλπ (π.χ. **περιοδικός πίνακας**)

*Πιο πολλά για τη γεωμετρία των τροχιακών είπαμε στο
β' μέρος αυτής της σειράς διαφανειών*

.....

.....

*Μετά από όσα αναφέραμε μέχρι εδώ, μπορεί τώρα ο
καθένας μας να επισημάνει **αρκετά λάθη στις επόμενες
σελίδες 11 και 12 του σχολικού βιβλίου της Χημείας
Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου και να βγάλει τα συμπεράσματά
του για την ευθύνη ή ανευθυνότητα που συνοδεύει τα
σχολικά βιβλία από τη συγγραφή τους μέχρι τη στιγμή
της διδασκαλία τους.***

*Κάποια από αυτά τα λάθη τα έχω ήδη επισημάνει με
κόκκινο χρώμα είτε ως υπογράμμιση είτε ως πλαίσιο.*

Για παράδειγμα, κοιτάξτε ότι το μπέρδεμα του τροχιακού με την πιθανότητα και με την πυκνότητα πιθανότητας και με το ασαφές ηλεκτρονιακό νέφος είναι ανεπίτρεπτα επαναλαμβανόμενο.

Στις λεζάντες που έχω σε κόκκινο πλαίσιο εύκολα θα διαπιστώσετε ότι αναφέρονται επιεικώς ανοησίες και μόνο ανοησίες.

Δυστυχώς δε βρήκα άλλον πιο κυριολεκτικό όρο για να χαρακτηρίσω όσα γράφονται στις λεζάντες

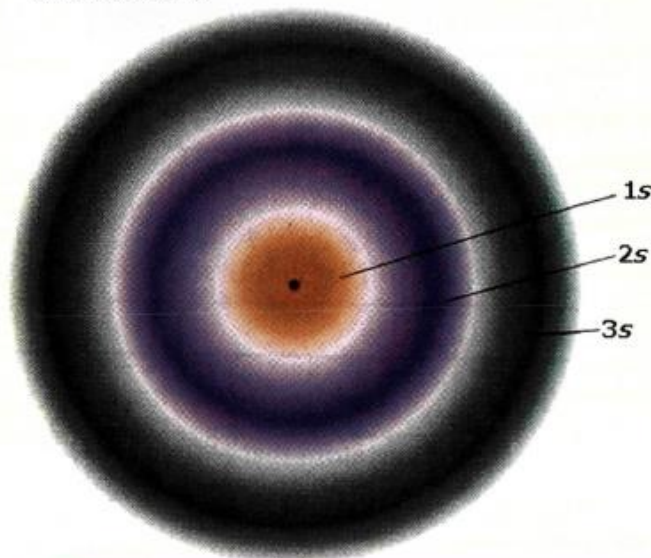
Σχολικό βιβλίο

σελίδα 11

Γραφική απεικόνιση ατομικών τροχιακών

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η απεικόνιση των ατομικών τροχιακών ή ακριβέστερα της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Η παράσταση των τροχιακών (συναρτήσεων ψ^2) με οριακές καμπύλες είναι από τις πιο συνηθισμένες. Να θυμίσουμε, ότι το περίγραμμα της καμπύλης περικλείει το 90-99% της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους.

Τα s τροχιακά ($l = 0$) έχουν σφαιρική συμμετρία, που σημαίνει ότι η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε μια ορισμένη απόσταση από τον πυρήνα είναι ανεξάρτητη από την κατεύθυνση. Τα s τροχιακά συμβολίζονται με σφαίρες, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από τον κύριο κβαντικό αριθμό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός n , στον οποίο ανήκει το τροχιακό s , τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακτίνα της σφαίρας.



ΣΧΗΜΑ 1.3 Σχηματική παρουσίαση των $1s$, $2s$ και $3s$ τροχιακών (συναρτήσεων ψ_s^2). Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη προς την πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους.

Με ανάλογη σκέψη, τα p τροχιακά έχουν το σχήμα διπλού λοβού, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Το σχήμα του λοβού είναι το σχήμα που προκύπτει αν ένα σφαιρικό μπαλόνι «τραβηχτεί» από κάποιο σημείο του, π.χ. από εκεί που είναι δεμένο. Να παρατηρήσουμε επίσης ότι το ηλεκτρόνιο στο p τροχιακό, αντίθετα από ότι συμβαίνει στο s , έχει ελάχιστη πιθανότητα να βρεθεί κοντά στον πυρήνα.

Όπως γνωρίζουμε, σε κάθε τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού με $n \geq 2$, αντιστοιχούν τρία p τροχιακά, που έχουν ίδιο μέγεθος και σχήμα αλλά διαφορετικό προσανατολισμό. Το καθένα απ' αυτά τα τροχιακά, p_x , p_y και p_z , προσανατολίζεται στον αντίστοιχο άξονα, x , y και z , όπως

ΕΧΟΥΝ ΠΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΙΚΟΥ ΤΡΟΧΙΑΚΟΥ

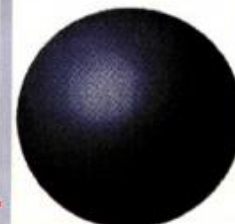
«Είναι εύκολο να απεικονίσουμε ένα ηλεκτρόνιο ως να εκτείνεται για να σχηματίσει ένα νέφος. Θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε αυτό το νέφος σαν ένα είδος θολής φωτογραφίας του ταχέως κινουμένου ηλεκτρονίου. Το σχήμα του νέφους είναι το σχήμα του τροχιακού. Το νέφος δεν είναι ομοιόμορφο, αλλά είναι πυκνότερο σ' εκείνες τις περιοχές που η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο είναι μεγαλύτερη, δηλαδή σ' εκείνες τις περιοχές που το μέσο αρνητικό φορτίο ή η ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι μεγαλύτερη.»
(Morrison και Boyd
«Οργανική Χημεία τόμος 1»)



1s



2s



3s

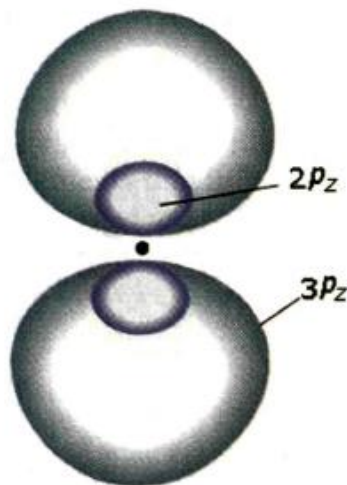
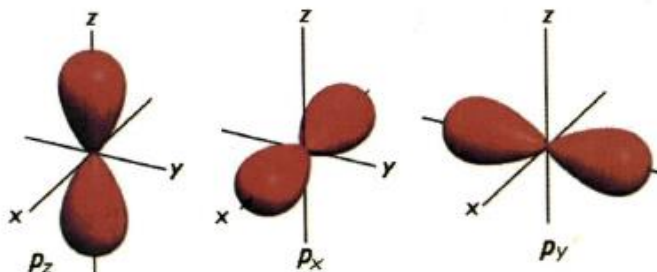
Απεικόνιση s τροχιακών (συναρτήσεων ψ_s^2) με οριακές καμπύλες και σχετικά μεγέθη των $1s$, $2s$ $3s$ τροχιακών.

Σχολικό

σελίδα 12

φαίνεται στο σχήμα 1.4. Επίσης, όπως και στην περίπτωση των s , το μέγεθος του p τροχιακού καθορίζεται από την τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n . Δηλαδή, όσο μεγαλύτερος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός n στον οποίο ανήκει το τροχιακό p , τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του τροχιακού.

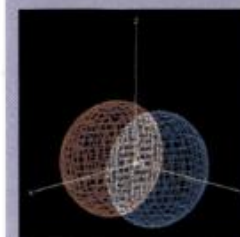
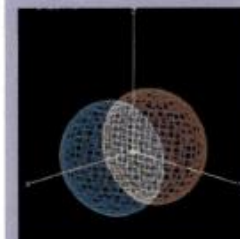
Τέλος, τα d τροχιακά ($l = 2$) είναι πέντε (m_l : -2, -1, 0, +1, +2) με σχετικά πολύπλοκη απεικόνιση, που ξεφεύγει από τα όρια διδασκαλίας του παρόντος βιβλίου. Το ίδιο ισχύει και για τα f τροχιακά ($l = 3$) που είναι συνολικά 7 (m_l : -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3).



ΣΧΗΜΑ 1.4 α. Σχηματική παρουσίαση των τριών p τροχιακών, p_x , p_y και p_z (συναρτήσεων ψ_p^2). β. Σχετικά μεγέθη των τροχιακών $2p_z$ και $3p_z$. Τα τροχιακά p έχουν σχήμα παρόμοιο με τα «βαράκια» της γυμναστικής.

ΕΧΟΥΝ ΠΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΙΚΟΥ ΤΡΟΧΙΑΚΟΥ

Μπορούμε να σκεφτούμε ένα τροχιακό σαν μια διαρκή κίνηση ενός ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα. Μια τέτοια φωτογραφία θα εμφάνιζε το τροχιακό σαν ένα σύννεφο από στίγματα, το οποίο θα έδειχνε την περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα όπου βρίσκεται το ηλεκτρόνιο. Αυτό το νέφος ηλεκτρονίων δεν έχει σαφώς καθορισμένα όρια, αλλά για πρακτικούς λόγους μπορούμε να θέσουμε τέτοια όρια, λέγοντας ότι το τροχιακό αντιπροσωπεύει το χώρο όπου το ηλεκτρόνιο βρίσκεται το περισσότερο χρόνο (90-95%). (J. McMurry -Οργανική Χημεία τόμος 1-)



Άλλος τρόπος απεικόνισης των p τροχιακών (συναρτήσεων ψ_p^2).

Γνώμη-Πρόταση

Εκείνο που έχει τη μεγαλύτερη αξία δεν είναι το να διδάξουμε την ύπαρξη του τροχιακού με «μεγέθη», απεικονίσεις, γραφικές παραστάσεις, συναρτήσεις, κλασικές εικόνες κλπ, αλλά να τονίσουμε τον πάρα πολύ σημαντικό ρόλο του στον υπολογισμό της πιθανότητας των διαφόρων δυνατών αποτελεσμάτων των διαδικασιών-φαινομένων που αφορούν στο άτομο. Είναι ανυπέρβλητη η διδακτική αξία να επιμένουμε στην πιθανότητα των διαφόρων εκβάσεων μιας κατά τα άλλα απόλυτα συγκεκριμένης διαδικασίας.

Θα ήταν επιτυχία του Δημόσιου Σχολείου και δικιά μας αν αρχίσουν τα παιδιά να συνειδητοποιούν ότι

α) Το ηλεκτρόνιο δε βρίσκεται σε θέση αλλά μπορεί να εντοπιστεί (αλληλεπιδράσει, εμφανιστεί, υπάρξει· πείτε το όπως θέλετε) στις διάφορες θέσεις του χώρου με διαφορετική πιθανότητα για την καθεμιά και ότι το τροχιακό βοηθά στον υπολογισμό αυτών των πιθανοτήτων.

β) Η πιθανοκρατική συμπεριφορά του ηλεκτρονίου στα άτομα είναι κοινή και ισχύει γενικά για όλα τα (υπο-)ατομικά (κβαντικά) σωματίδια αποτελώντας το σημερινό μας ατομικό μοντέλο, που πήρε τη θέση του πλανητικού πρότυπου του Ράδερφορντ και του μοντέλου Μπωρ

γ) Η είσοδος των πιθανοτήτων στη μελέτη του Κόσμου μας δεν οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων ή στην ύπαρξη μεταβλητών που αγνοούμε ακόμη γιατί είναι καλά κρυμμένες ή σε κάποια τεχνολογία που μας λείπει ή πιο γενικά σε κάτι που ακόμη δεν κατέχουμε, αλλά στην κορυφαία γνώση μας ότι το Σύμπαν είναι κβαντικό, δηλαδή πιθανοκρατικό εκεί κάτω στις δομές του.

Να μάθουν τα παιδιά ότι «ο Θεός παίζει ζάρια»

δ) Το να επιμένουμε λοιπόν διδακτικά στο «μέγεθος» και το σχήμα ενός τροχιακού χωρίς να απογειώνουμε τη διδασκαλία μας με τη φλόγα-λάμψη της γνώσης ότι ζούμε σε έναν πιθανοκρατικό Κόσμο, δε νομίζω να προσφέρει τίποτε αξιόλογο. Τα παιδιά πρέπει να μνηθούν στην αλήθεια που σήμερα κατέχουμε:

*Η πιθανότητα αποτελεί βασικό,
αξεπέραστο και αδιαμφισβήτητο στοιχείο
της δομής του κβαντικού μας Κόσμου*

Αντί λοιπόν να ασχολούμαστε

- *με έντομα που γυρνάνε γύρω από λάμπες*
- *με γριές που μπορούν να είναι και κορίτσια*
- *με κουνέλια που μπορούν να είναι και πουλιά*
- *με α-νόητα πράγματα που μειώνουν την κβαντική φυσική αποδίδοντάς της ποικίλους εγκεφαλικούς εστιασμούς σε συνηθισμένες κλασικές εικόνες*

θα έπρεπε να είχαμε ένα καλό σχολικό βιβλίο, που να δίνει έμφαση στα σημαντικά του Κόσμου μας,

*στην ενέργεια, στη στροφορμή
και τελικά στην πιθανότητα*

Ερωτήσεις

- α) Ποιες είναι οι αρχές ηλεκτρονιακής δόμησης;*
- β) Μπορεί ένας «εμπειρικός» κανόνας όπως αυτός του Hund, να συμπορεύεται με θεωρητικές αρχές ύψιστης αξίας, όπως εκείνη της ελάχιστης ενέργειας και η απαγορευτική αρχή του Pauli;*

Απάντηση:

Σε μια διδασκαλία που απευθύνεται σε μαθητές ο τρόπος ηλεκτρονιακής δόμησης των ατόμων είναι δυνατό να παρουσιάζεται μέσω

- 1) Της αρχής ελάχιστης ενέργειας*
- 2) Της απαγορευτικής αρχής του Pauli*
- 3) Του κανόνα του Hund*

δηλαδή όπως κάνει και το σχολικό βιβλίο.

Πριν όμως αρχίσω να δικαιολογώ την απάντησή μου

... είναι καλό να σας υπενθυμίσω ότι για μια σωστή και με αξιώσεις διδασκαλία Χημείας στο Λύκειο σχετικά με την ηλεκτρονιακή δόμηση των ατόμων

1) Ενεργοποιήθηκε βασικό τμήμα του πυρήνα της κβαντομηχανικής, ώστε σε κάποια πολυηλεκτρονιακά άτομα να ξεπεραστεί ο υδρογονικός εκφυλισμός και οι ενέργειες από E_n που ήτανε αρχικά για το άτομο του υδρογόνου να γίνουν E_{nl} σε πρώτη πιο γενική, αλλά αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση.

2) Υπολογίστηκαν με έξυπνο τρόπο οι ενέργειες (ιδιοτιμές) E_{nl} των κυματοσυναρτήσεων αρχικά σε «θωρακισμένο» σφαιρικό δυναμικό και όχι στο απλό δυναμικό Coulomb, του ατόμου του υδρογόνου.

3) Υποστηρίχθηκε θεωρητικά και με δύναμη η διάταξη των ενεργειακών επιπέδων

4) Δικαιολογήθηκε ικανοποιητικά ο «εποικισμός» των κβαντικών καταστάσεων (τροχιακών) με ηλεκτρόνια βάσει της αρχής ελάχιστης ενέργειας (υπήρχε κλασική εμπειρία κι άρα δεν ήταν παράξενη)

της απαγορευτικής αρχής του Pauli (δεν υπήρχε κλασική εμπειρία. Πρόκειται για καθαρά κβαντική καινούρια γνώση)

Νομίζω όμως ότι όλα αυτά είναι καλύτερο να τα αφήσουμε για τον επόμενο τον 5ο διδακτικό μας προβληματισμό, στον οποίο θα μιλήσουμε για τις

Αρχές της Ηλεκτρονιακής Δόμησης των Ατόμων

Τέλος

4ου προβληματισμού

Ερμήνευσε ο

Θρασύβουλος Κων. Μαχαίρας

Φυσικός

Γενικού Λυκείου Αγριάς Πηλίου