

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
της Διδακτικής της Χημείας και των Νέων Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών

***Διερεύνηση της Ικανότητας των Φοιτητών Χημείας  
στον Νοητικό Χειρισμό (Περιστροφή και Κατοπτρισμός)  
2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων***

Κωστελίδου Ν. Θεοδώρα

Επιβλέπων  
Καθηγητής Μ. Σιγάλας

Θεσσαλονίκη

2013

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
της Διδακτικής της Χημείας και των Νέων Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών

***Διερεύνηση της Ικανότητας των Φοιτητών Χημείας  
στον Νοητικό Χειρισμό (Περιστροφή και Κατοπτρισμός)  
2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων***

Κωστελίδου Ν. Θεοδώρα

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Καθηγητής Μιχάλης Σιγάλας (Επιβλέπων Καθηγητής)

Τμήμα Χημείας ΑΠΘ

Αναπληρωτής Καθηγητής Παναγιώτης Γιαννακουδάκης

Τμήμα Χημείας ΑΠΘ

Αναπληρωτής Καθηγητής Περικλής Ακρίβος

Τμήμα Χημείας ΑΠΘ

Θεσσαλονίκη

2013

*Στη μητέρα μου,  
στον σύζυγό μου,  
στην Ελένη,  
στην Νικολέττα,  
στη Γεωργία.*

*Στη Λεμονιά.*

## *Πρόλογος*

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2012-2013 στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης στα πλαίσια του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της Διδακτικής της Χημείας και των Νέων Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών (ΔιΧηNET). Έχει ως αντικείμενο την Διερεύνηση της Ικανότητας Φοιτητών του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ, στο Νοητικό Χειρισμό (Περιστροφή και Κατοπτρισμό) Δισδιάστατων (2D) Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων. Η διερεύνηση βασίστηκε σε τρία πρωτότυπα τεστ τα οποία σχεδιάστηκαν, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν σε πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ, από την ομάδα των κ. Μ. Σιγάλα, κ. Λ. Αντώνογλου και κ. Ν. Χαριστού.

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σιγάλα Μ. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου αυτό το θέμα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βαθέων την διδάκτορα Χημείας Αντώνογλου Λεμονιά για την συνεχή και ενεργή παρουσία της σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Με τις γνώσεις της, την μεθοδικότητά της, την περίσσια υπομονή της και το αστείρευτο μεράκι της για αυτό που κάνει, στάθηκε δίπλα μου ως πραγματικός μέντορας, προσπαθώντας να με καθοδηγήσει και να με ενθαρρύνει.

Ακόμα οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην καθηγήτριά μου κ. Χατζηαντωνίου-Μαρούλη Κωνσταντίνα, η οποία είχε πάντα ένα ζεστό-εγκάρδιο λόγο να μου πει δίνοντάς μου κουράγιο να συνεχίσω και να καταφέρω τελικά τον στόχο μου.

Θα πρέπει όμως να ευχαριστήσω και τους ανθρώπους που κρύβονται πίσω από όλα αυτά και χωρίς την βοήθειά τους πιθανόν να μην τα είχα καταφέρει. Την μητέρα μου που πάντα ήταν δίπλα μου όταν την χρειαζόμουν, τον άντρα μου Νίκο και τα τρία παιδιά μου, την Ελένη, την Νικολέττα και τη Γεωργία, που μου στάθηκαν στις καλές και στις κακές στιγμές αυτής της πορείας, δείχνοντας κατανόηση για αυτό που κάνω.

Τέλος θα ήθελα να αναφέρω ότι τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής παρουσιάστηκαν σε προφορική εργασία στο 8<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (ΚΟΦΙΔΕΕΤ) Βόλος (2013).

Ιούνιος 2013

Θεοδώρα Ν. Κωστελίδου

## Πίνακας Περιεχομένων

<i>Πρόλογος</i> .....	<i>i</i>
<i>Πίνακας Περιεχομένων</i> .....	<i>ii</i>
<i>Περίληψη</i> .....	<i>v</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>vi</i>
<i>Εισαγωγή</i> .....	<i>1</i>
<b>1. Ο Ρόλος των Οπτικοποιήσεων στη Μάθηση της Χημείας</b> .....	<b>2</b>
1.1 Η συμβολική Χημική Γλώσσα .....	2
1.2 Μοντέλα στη Χημεία.....	4
1.3. Πολλαπλές Αναπαραστάσεις στη Χημεία.....	7
1.4 Οπτικές Αναπαραστάσεις.....	8
1.5 Μοριακές αναπαραστάσεις στη Χημεία.....	9
1.5.1 Δισδιάστατες Μοριακές Αναπαραστάσεις.....	9
1.5.2 Τρισδιάστατες Μοριακές Αναπαραστάσεις.....	11
1.6 Αναπαραστασιακή επιδεξιότητα στην Χημεία.....	12
<b>2. Οπτικοχωρική Ικανότητα και Χημεία</b> .....	<b>15</b>
2.1 Επίλυση Προβλημάτων στη Χημεία.....	15
2.2 Δυσκολίες στη μάθηση και στην κατανόηση εννοιών της Χημείας.....	16
2.2.1 Δυσκολίες στην μάθηση με τη χρήση μοντέλων ή οπτικοποιήσεων.....	17
2.2.2 Δυσκολίες κατά τη μάθηση των μοντέλων και των μοριακών αναπαραστάσεων .....	19
2.2.3 Δυσκολίες μεταφοράς 2D σε 3D συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων.....	20
2.3 Χωρική Ικανότητα.....	22
2.4 Η σπουδαιότητα της Οπτικοχωρικής Ικανότητας στην Εκπαίδευση στις Θετικές ή Φυσικές Επιστήμες (Science Education).....	26
2.5 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Μάθηση της Χημείας.....	28
2.6 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Ηλικία.....	31
2.7 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Φύλο.....	32

2.8 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Ημισφαιρικές Διαφορές στον Εγκέφαλο .....	35
2.9 Εξάσκηση της Οπτικοχωρικής Ικανότητας .....	37
2.10 Η χρήση Τεστ Χωρικών Δεξιοτήτων στην διερεύνηση Οπτικοχωρικών Ικανοτήτων .....	40
<b>3. Συσχέτιση Χωρικών Ικανοτήτων με τα Επίπεδα Κατανόησης και τις Επιδόσεις των Εκπαιδευομένων στη Χημεία .....</b>	<b>48</b>
3.1 Συσχέτιση Οπτικοχωρικής Ικανότητας με τα Επίπεδα Κατανόησης της Χημείας ...	48
3.2 Συσχέτιση Χωρικών Ικανοτήτων και Επιδόσεων των Εκπαιδευομένων στην Εκμάθηση της Χημείας .....	49
<b>4. Διερεύνηση της Οπτικοχωρικής Ικανότητας σε Φοιτητές Χημείας του ΑΠΘ..</b>	<b>52</b>
4.1 Σκοπός και στόχοι της έρευνας .....	52
4.2 Μέθοδος και εργαλεία της έρευνας .....	52
4.2.1 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R) .....	53
4.2.2 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων .....	58
4.2.3 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων .....	63
4.3 Εφαρμογή των Τεστ σε Φοιτητές Χημείας του ΑΠΘ .....	68
<b>5. Αποτελέσματα .....</b>	<b>72</b>
5.1 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R) .....	72
5.1.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II .....	72
5.1.2 Ανάλυση και διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης .....	73
5.1.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II .....	74
5.1.4 Ανάλυση και διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης .....	75
5.1.5 Ανάλυση και διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση .....	75
5.1.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση .....	89
5.2.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων .....	95

5.2 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων.....	96
5.2.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II.....	96
5.2.2 Ανάλυση και διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης.....	97
5.2.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II.....	98
5.1.4 Ανάλυση και διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης.....	99
5.2.5 Ανάλυση και διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση.....	99
5.2.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση.....	119
5.2.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων.....	125
5.3 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων.....	129
5.3.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II.....	129
5.3.2 Ανάλυση και διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης....	130
5.3.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II.....	131
5.3.4 Ανάλυση και διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης.....	131
5.35 Ανάλυση και διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση.....	132
5.3.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση....	145
5.3.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων.....	149
5.4 Σύγκριση των Επιδόσεων και των Χρόνων Απόκρισης ανά Ομάδα του κάθε τεστ.....	152
5.5 Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των επιδόσεων των πρωτοετών φοιτητών Χημείας στα τεστ.....	154
5.6 Έλεγχος Αξιοπιστίας των τεστ.....	156
<b>6. Διερεύνηση και Ανάλυση της σχέσης Βαθμολογίας στα μαθήματα Αναλυτικής και Γενικής Ανόργανης Χημείας με της Επίδοσης στα τεστ.....</b>	<b>157</b>
<b>7. Συμπεράσματα – Συζήτηση.....</b>	<b>160</b>
<b>8. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>166</b>

## *Περίληψη*

Στη Χημική εκπαίδευση η αντίληψη, η κατανόηση και ο χειρισμός μοριακών αναπαραστάσεων αποτελούν απαραίτητες γνωστικές διεργασίες. Πολλές έρευνες έχουν δείξει μία θετική συσχέτιση μεταξύ της χωρικής ικανότητας των διδασκόμενων και των επιδόσεων τους στη Χημεία.

Η οπτικοχωρική ικανότητα (visual spatial ability), αποτελεί βασικό παράγοντα της χωρικής ικανότητας (spatial ability) και περιλαμβάνει τη νοητική οπτικοποίηση, τη μεταφορά και το χειρισμό μη λεκτικών πληροφοριών, όπως σύμβολα, εικόνες, αντικείμενα και τμήματα αυτών στο δισδιάστατο (2D) και τρισδιάστατο (3D) χώρο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η γενική οπτικοχωρική ικανότητα φοιτητών Χημείας, καθώς και η δεξιότητά τους να οπτικοποιούν και να χειρίζονται νοητικά (περιστροφή και κατοπτρισμός) μοριακές δομές μέσα από την παρατήρηση δισδιάστατων συμβολικών αναπαραστάσεών τους.

Η διερεύνηση έγινε με την χρήση της ηλεκτρονικής έκδοσης του Purdue Spatial Visualization Test of Rotation PSVT:R του Πανεπιστημίου Purdue, καθώς και με την χρήση δύο πρωτότυπων ηλεκτρονικών τεστ οπτικοποίησης νοητικών περιστροφών και κατοπτρισμού δισδιάστατων (2D) συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων. Οι εφαρμογές αυτές σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν για τον σκοπό αυτό και εφαρμόστηκαν σε 37 πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ. Τα ευρήματα της έρευνας προέκυψαν από την ανάλυση των επιδόσεων, λανθασμένων απαντήσεων και μετρούμενων χρόνων απόκρισης των συμμετεχόντων φοιτητών στα τρία τεστ οπτικοποίησης.



### *Abstract*

In Chemical education, comprehension, understanding and treatment of molecular representations are important gnostic procedures. Many researches have shown a positive correlation between spatial ability of those being tutored and their progress in Chemistry.

Visual spatial ability is a basic element of spatial ability and includes visualization, transfer and treatment of non-verbal information, such as symbols, images, objects and their parts in two-dimensional and three-dimensional space. The present thesis examines the general visual spatial ability of Chemistry students as well as their ability to visualize and treat mentally (rotation and reflection) molecular structures, through the observation of their two-dimensional symbolic representations.

The research was carried out with the use of the electronic edition of Purdue Spatial Visualisation Test of Rotation PSVT:R of Purdue University, as well as with the use of two original tests on visualizing mental rotations and reflections of two-dimensional symbolic molecular representations. The applications were designed and elaborated for this reason and were implemented in 37 first year students of the Department of Chemistry of Aristotle University. The findings of the research came up after analyzing their progress, false answers and estimated time of reply of the participant students in the three visualizing tests.

## **Εισαγωγή**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από οχτώ κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο, αφορά το ρόλο των οπτικοποιήσεων στη Χημεία. Γίνεται αναφορά στη συμβολική χημική γλώσσα, στα μοντέλα και στις μοριακές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται στη μάθηση της Χημείας, καθώς και στην αναπαραστασιακή επιδεξιότητα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με την Οπτικοχωρική Ικανότητα γενικά αλλά και τη Χημεία ειδικότερα. Επίσης γίνεται αναφορά και στα τεστ χωρικών δεξιοτήτων προκειμένου να διερευνηθεί αυτή η ικανότητα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η συσχέτιση των Χωρικών Ικανοτήτων με τα Επίπεδα Κατανόησης και τις Επιδόσεις των Εκπαιδευόμενων στη Χημεία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μεθόδους και στα εργαλεία της έρευνας, καθώς και στο δείγμα αυτής. Επίσης παρουσιάζονται όλα τα τεστ που σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της έρευνας, οι συγκρίσεις μεταξύ των τριών τεστ, καθώς και ο έλεγχος αξιοπιστίας των τεστ.

Η διερεύνηση και η ανάλυση της σχέσης βαθμολογίας στα μαθήματα Αναλυτικής και Γενικής ανόργανης Χημείας παρουσιάζεται στο έκτο κεφάλαιο.

Ακολουθεί η συζήτηση και τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα έρευνα στο έβδομο κεφάλαιο και τέλος στο όγδοο κεφάλαιο δίνεται συγκεντρωμένη η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

## **1. Ο Ρόλος των Οπτικοποιήσεων στη Μάθηση της Χημείας**

Η Χημεία θεωρείται ότι είναι η πλέον οπτική από τις θετικές επιστήμες. Αυτό επιβεβαιώνεται από την ύπαρξη μιας ενιαίας χημικής γλώσσας η οποία βασίζεται σε σύμβολα και οπτικές αναπαραστάσεις. Η γλώσσα της επιστήμης της Χημείας αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε από τους ίδιους τους χημικούς στην προσπάθειά τους να προσεγγίσουν, να εξηγήσουν και να επικοινωνήσουν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τις χημικές έννοιες και τα φαινόμενα που μελετούν. Για το σκοπό αυτό οι χημικοί ανέπτυξαν μια σειρά από αναπαραστάσεις όπως είναι τα μοριακά μοντέλα, οι χημικοί τύποι και οι χημικές εξισώσεις (Harbaken, 1996).

### **1.1 Η Συμβολική Χημική Γλώσσα**

Στη Χημεία υπάρχουν τρία βασικά επίπεδα προσέγγισης των χημικών φαινομένων. Το μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο (Johnstone, 1993; Johnstone, 2000; Treagust & Mamiala, 2003)

Στο μακροσκοπικό επίπεδο οι χημικοί προσπαθούν να προσεγγίσουν τα χημικά φαινόμενα με τις αισθήσεις τους, όπως για παράδειγμα γίνεται με την παρατήρηση της αλλαγής στο χρώμα ενός διαλύματος κατά την εξέλιξη μίας χημικής αντίδρασης.

Η ερμηνεία όλων των χημικών φαινομένων, πραγματοποιείται στο μικροσκοπικό επίπεδο. Στο παράδειγμα η αλλαγή του χρώματος σε ένα διάλυμα μπορεί να οφείλεται σε μια αντίδραση οξειδοαναγωγής. Επομένως οι εξηγήσεις του παρατηρούμενου μακροσκοπικού φαινομένου βασίζονται στις ιδιότητες και στην αλληλεπίδραση των ασύλληπτων με τις αισθήσεις μικροσκοπικών σωματιδίων, όπως είναι τα ηλεκτρόνια, τα άτομα και τα μόρια, τα οποία προσεγγίζονται μέσα από την χημική θεωρία (Heitzman & Krajcik 2005).

Για την περιγραφή και την επικοινωνία αυτών των χημικών εννοιών και φαινομένων του μικροσκοπικού επιπέδου, χρησιμοποιείται το συμβολικό επίπεδο, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται τα χημικά σύμβολα των στοιχείων, οι μοριακοί τύποι, οι εξισώσεις των χημικών αντιδράσεων και όλες οι άλλες χημικές αναπαραστάσεις που εμπνεύστηκαν και καθιερώθηκαν από τους ίδιους τους χημικούς με το πέρασμα των χρόνων και την εξέλιξη της επιστήμης τους (Gabel, 1999).

Οι χημικές αναπαραστάσεις αποτελούν σύμβολα, τα οποία είναι ασαφή και γενικά και μπορούν να εφαρμόζονται σε ποικίλες διαφορετικές περιπτώσεις. Ταυτόχρονα όμως αποτελούν και μοντέλα, καθώς αναπαριστούν με ακρίβεια και αξιοπιστία τη «μοριακή

πραγματικότητα», η οποία προσεγγίζεται εννοιολογικά με τις θεωρίες και τις αρχές της Χημείας. Οι χημικές αναπαραστάσεις μεσολαβούν μεταξύ αυτού που δεν μπορούν να δουν οι χημικοί και αυτού που μπορούν να δουν, παρέχοντας ένα μέσο για να κάνουν ορατά τα φαινόμενα τα οποία είναι πολύ μικρά, μεγάλα, γρήγορα ή αργά για να γίνουν αντιληπτά με γυμνό μάτι. Οι χημικές αναπαραστάσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όσον αφορά την επικοινωνία με επιστημονικές έννοιες. Για παράδειγμα στην επιστήμη (σε όλες τις επιστήμες), αλλά και στη Χημεία τα γραφικά χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση των δεδομένων, την οργάνωση σύνθετων πληροφοριών, καθώς και την προώθηση διαμοιραζόμενων εννοιών ενός επιστημονικού φαινομένου. Μέσα σε μια κοινότητα όπου κοινός στόχος είναι η γνώση, οι χημικοί χρησιμοποιούν αναπαραστάσεις για να εξηγήσουν, να προβλέψουν και να αλλάξουν τα χημικά φαινόμενα που αποτελούν το επίκεντρο της δουλειάς τους (Kosma, 2000, Cook, 2006). Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι, όταν οι χημικοί περιγράφουν χημικά φαινόμενα, αναπαριστώντας την αναπαραστασιακή τους επιδεξιότητα, αναφέρονται και στα τρία επίπεδα παραστάσεων, χρησιμοποιώντας την χημική συμβολική γλώσσα (Επιστημονική Γλώσσα) (Σχήμα 1). Οι ερευνητές υπογραμμίζουν την ευχέρεια των χημικών να μεταβαίνουν από το ένα επίπεδο στο άλλο, δηλαδή να αντιλαμβάνονται και να ερμηνεύουν τα χημικά φαινόμενα στα τρία επίπεδα προσέγγισης της Χημείας και να αναδεικνύουν τις εννοιολογικές σχέσεις ανάμεσα σε αυτά μέσα από την χρήση της χημικής επιστημονικής γλώσσας (Kosma & Rusell, 1997; Nakheleh & Krajcik, 1993; Wu, 2003; Johnstone, 1993).



**Σχήμα 1:** Τα τρία αναπαραστατικά επίπεδα της Χημείας και η σύνδεσή τους με την Επιστημονική Γλώσσα.

Επομένως οι χημικοί χρησιμοποιούν τις χημικές αναπαραστάσεις ως: (Αντώνογλου, 2011)

- «**Μέσο**» για να «επικοινωνήσουν» πρωτίστως με τον εαυτό τους
- «**Τρόπο**» για να προσεγγίσουν εννοιολογικές οντότητες που είναι αδύνατο να τις πλησιάσουν με τις αισθήσεις τους
- «**Εργαλείο**» για να μελετήσουν και να διερευνήσουν αφηρημένες χημικές έννοιες και φαινόμενα
- «**Βάση**» για να κάνουν τις επιστημονικές ανακαλύψεις τους

Επιπλέον η χρήση των χημικών αναπαραστάσεων ως στοιχεία μιας ενιαίας επιστημονικής γλώσσας, ανάμεσα στα μέλη της επιστημονικής κοινότητας την καθιστούν βασικό και καθοριστικό παράγοντα για την συνέχιση και την εξέλιξη της Χημείας (Dunbar 1995, Thagard 1997). Επομένως η συμβολική χημική γλώσσα αποτελεί εργαλείο για τους χημικούς, προκειμένου να μελετήσουν από κοινού και να επικοινωνούν τις ιδέες και τις ερμηνείες του χημικού μικρόκοσμου (Kosma Chin Russell & Marx, 2000; Justi & Gilbert, 2000).

Αντίθετα, έχει παρατηρηθεί ότι οι μαθητευόμενοι (μαθητές και φοιτητές χημείας) δυσκολεύονται να επικοινωνήσουν και να επιχειρηματολογήσουν με την χημική γλώσσα, που βασίζεται στις χημικές αναπαραστάσεις. Επιπλέον εμφανίζουν δυσκολίες στο να αναγνωρίσουν τον ξεχωριστό ρόλο του κάθε επιπέδου αναπαράστασης της Χημείας (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό) και να δημιουργούν εννοιολογικές συνδέσεις και μεταφράσεις ανάμεσα στα τρία επίπεδα προσέγγισης της Χημείας καθώς και να μεταβαίνουν από την μία συμβολική αναπαράσταση στην άλλη, της ίδιας χημικής έννοιας. Οι περισσότερες δυσκολίες πιθανόν να οφείλονται στην ελλιπή κατανόηση του μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου αναπαραστάσεων, καθώς και στην μη ανεπτυγμένη αναπαραστατική τους επιδεξιότητά τους (Barnea & Dori, 1996, Wu, 2000, Hegarty & Deslongchamps, 2011, Αντώνογλου, 2011).

## **1.2 Μοντέλα στη Χημεία**

Η επιστήμη μπορεί να θεωρηθεί ως μια προσπάθεια μοντελοποίησης της φύσης με σκοπό την κατανόηση και την εξήγηση φαινομένων (Dori & Barak, 1999). Στις θετικές επιστήμες η μάθηση είναι στενά συνυφασμένη με τη σύλληψη και την κατασκευή μοντέλων. Τα μοντέλα έχουν ένα κύριο στόχο, το ακριβές αντικείμενο το

οποίο προσπαθούν να αναπαραστήσουν και την πηγή, δηλαδή την ιδέα ή το αντικείμενο από το οποίο η αναπαράσταση προέρχεται. Γενικά οποιαδήποτε αναπαράσταση ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου, ή ενός συστήματος, μιας υπόθεσης ή μιας ιδέας, η οποία εμπεριέχει μέσα της θεωρία και η οποία συμβάλει στην κατανόηση και στην ερμηνεία αυτού που αναπαρίσταται, ονομάζεται μοντέλο. Τα μοντέλα βοηθούν στο να γίνονται προβλέψεις, να δικαιολογούνται αποτελέσματα, να συνοψίζονται δεδομένα και να διευκολύνεται η επικοινωνία. (Dori & Barak, 1999).

Η σημαντική αξία των μοντέλων στην επιστήμη και στην επιστημονική εκπαίδευση είναι η συμβολή στην οπτικοποίηση σύνθετων ιδεών, διαδικασιών και συστημάτων. Ένα καλό μοντέλο είναι αυτό που διεγείρει τους δημιουργούς και τους θεατές να θέτουν ερωτήματα τα οποία μας φέρνουν πέρα από το πρότυπο φαινόμενο ώστε να διατυπώσουμε υποθέσεις οι οποίες μπορούν να εξεταστούν πειραματικά (Dori & Barak, 1999; Barnea & Dori, 2000).

Στη Χημεία τα μοντέλα είναι απαραίτητα στη διδασκαλία, στη μάθηση, στην κατανόηση, αλλά και στην επικοινωνία, διότι επιτρέπουν την προσέγγιση την αντίληψη και την κατανόηση αφηρημένων και σύνθετων εννοιών, αλλά και φαινομένων που δεν γίνονται αντιληπτά με τις ανθρώπινες αισθήσεις (Treagust & Harrison, 1999). Εξαιτίας της σημασίας τους στη Χημεία, έχει γίνει μεγάλη έρευνα για την φύση και τη χρήση τους στην επιστήμη, αλλά και στην εκπαίδευση (Coll Richard, 2006).

Τα μοντέλα ανάλογα με το ρόλο που διαδραματίζουν στην επιστήμη αλλά και στη Χημεία ειδικότερα χωρίζονται στα νοητικά, εκφραστικά, επιστημονικά, ιστορικά, εκπαιδευτικά και υβριδικά μοντέλα (Gilbert, 2004). Έτσι ένα νοητικό μοντέλο είναι μια ιδιωτική και προσωπική αναπαράσταση ιδεών και κατανοήσεων ενός ατόμου. Τα νοητικά μοντέλα δημιουργούνται από ένα άτομο προκειμένου να κατανοήσει και να ερμηνεύσει τις προσωπικές του εμπειρίες. Για παράδειγμα σε ένα μάθημα Χημείας, οι μαθητές αναπτύσσουν νοητικές αναπαραστάσεις για τις έννοιες που τους παρουσιάζονται, όπως για παράδειγμα η έννοια του ατόμου.

Από τη στιγμή που ένα νοητικό μοντέλο θα εξωτερικευτεί τότε αποτελεί ένα εκφραστικό μοντέλο. Τα εκφραστικά μοντέλα που είναι κοινής αποδοχής από μια κοινωνική ομάδα, για παράδειγμα από μια σχολική τάξη, μετά από πειραματισμό και συζήτηση μετατρέπονται σε ομόφωνα μοντέλα. Αυτά με την σειρά τους αν αναγνωριστούν από τη επιστημονική κοινότητα τότε χαρακτηρίζονται επιστημονικά μοντέλα. Τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν το βασικό εργαλείο για την ανάπτυξη

θεωριών, την ερμηνεία φαινομένων και τον έλεγχο υποθέσεων. Ο βασικός ρόλος των επιστημονικών μοντέλων είναι η εξήγηση και η διερεύνηση των φαινομένων και των διαδικασιών, καθώς και η περιγραφή των αφηρημένων εννοιών, ώστε να τις κάνουν «ορατές» και να δώσουν λεπτομερή περιγραφή ή να απλοποιήσουν ένα φαινόμενο (Dori & Barak, 1999).

Ένα επιστημονικό μοντέλο το οποίο έχει ξεπεραστεί και αντικατασταθεί από κάποιο άλλο επιστημονικό μοντέλο, ονομάζεται ιστορικό. Το ατομικό μοντέλο του Rutherford που αντικαταστάθηκε από το ατομικό μοντέλο του Bohr, αποτελεί παράδειγμα τέτοιου μοντέλου. Ο Rutherford σχεδίασε το άτομο ως ένα μικρό ηλιακό σύστημα όπου τα ηλεκτρόνια γυρίζουν γύρω από τον πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο, όπως οι πλανήτες. Το μοντέλο του Bohr που διαδέχτηκε του Rutherford χρησιμοποιούσε κάποια από τα πρώιμα συμπεράσματα της Κβαντομηχανικής για να «κβαντώσει» τις τροχιές και να καθορίσει τη συμπεριφορά των περιστρεφόμενων σε τροχιά ηλεκτρονίων, περιορίζοντάς τα σε ορισμένες κυκλικές και αργότερα ελλειπτικές δισδιάστατες τροχιές, όπου η κάθε μια ήταν διαφορετική από την διπλανή της.

Απλοποιημένες εκδόσεις των επιστημονικών και των ιστορικών μοντέλων που ενσωματώνονται σε αναλυτικά προγράμματα σπουδών, χαρακτηρίζονται ως εκπαιδευτικά μοντέλα. Τέλος τα μοντέλα τα οποία συνενώνουν χαρακτηριστικά προηγούμενων κατηγοριών μοντέλων ονομάζονται υβριδικά μοντέλα (Gilbert, 2004).

Οι μορφές αναπαράστασης των εκφραστικών μοντέλων, μπορεί να είναι μοντέλα χειροπιαστά, λεκτικά, συμβολικά, οπτικά και τέλος μοντέλα χειρονομίας. Τα χειροπιαστά μοντέλα είναι τρισδιάστατα, το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι απτά, μπορούμε δηλαδή να τα πιάσουμε, όπως για παράδειγμα είναι ένα πλαστικό μοντέλο από ράβδους και μπάλες. Ένα λεκτικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο το οποίο περιγράφεται με λέξεις γραπτά ή προφορικά. Μπορεί να αποτελεί την περιγραφή μιας έννοιας ή την σχέση της με άλλες έννοιες.

Ο συμβολικός τρόπος αναπαράστασης περιλαμβάνει τα χημικά σύμβολα και τους χημικούς τύπους, τις χημικές εξισώσεις και τις μαθηματικές εκφράσεις. Στην οπτική αναπαράσταση χρησιμοποιούνται γραφήματα, διαγράμματα και κινούμενες εικόνες. Δισδιάστατες αναπαραστάσεις χημικών δομών εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία όπως και τα εικονικά μοντέλα που δημιουργούνται από εξειδικευμένα προγράμματα υπολογιστών. Στην αναπαράσταση χειρονομίας χρησιμοποιούνται τα χέρια προκειμένου να αναπαρασταθεί μια έννοια (Gilbert, 2004).

Η αποτελεσματική ένταξη των μοντέλων στη διδασκαλία και στη μάθηση της Χημείας (Coll, 2006)

- Επιτρέπει στον μαθητευόμενο να ενισχύσει τις εποικοδομητικές προσεγγίσεις μάθησης, αφού μπορεί να εκφράσει τις ιδέες του, να αλληλεπιδράσει με τις έννοιες και τα αναπαριστώμενα φαινόμενα, να συγκρίνει τις αρχικές του ιδέες με τις νέες πληροφορίες στην προσπάθειά του να κατακτήσει την νέα γνώση
- Παρέχει τη δυνατότητα να συνδέσουν την εννοιολογική και την μεταγνώση κατά την διάρκεια της εργασίας με φυσικά μοντέλα με σκοπό να προωθήσουν θετικές στάσεις και να αυξήσουν τις γνωστικές αντιλήψεις
- Η διδακτική προσέγγιση που στηρίζεται πάνω στα μοντέλα δίνει τη δυνατότητα στους μαθητευόμενους να αναπτύξουν μια πιο ρεαλιστική άποψη για τα μοντέλα, που θα είναι σε θέση να αναγνωρίσουν τις χρήσεις και τους περιορισμούς τους καθώς και τη διαδικασία μοντελοποίησης

### **1.3 Πολλαπλές Αναπαραστάσεις στη Χημεία**

Η Χημεία είναι μία από τις επιστήμες που η διδασκαλία και η μάθησή της βασίζονται σε σύμβολα και πολλαπλές χημικές αναπαραστάσεις. Στα παραδοσιακά, αλλά περισσότερο στα σύγχρονα τεχνολογικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, για την υποστήριξη της μάθησης της Χημείας, χρησιμοποιούνται πολλαπλές αναπαραστάσεις, οι οποίες αναπαριστούν διαφορετικά στοιχεία μιας έννοιας ή την ίδια την έννοια.

Οι μαθητευόμενοι ακόμα και σε ένα εισαγωγικό μάθημα Χημείας έρχονται αντιμέτωποι με πολλαπλές χημικές αναπαραστάσεις, οι οποίες φέρουν ταυτόχρονα εννοιολογική, οπτική και χωρική πληροφορία, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζουν προκλήσεις για τη χρήση μιας κοινής χημικής γλώσσας επικοινωνίας με το διδάσκοντα και τους συνομηλίκους τους. Για παράδειγμα στα συμβατικά βιβλία Χημείας τα κείμενα συνοδεύονται από επεξηγηματικές εικόνες και γραφικές χημικές αναπαραστάσεις. Στην τάξη οι χημικοί εξηγούν τις χημικές έννοιες σχεδιάζοντας διαγράμματα των χημικών μοντέλων στον πίνακα. Στα τεχνολογικά υποστηριζόμενα περιβάλλοντα μάθησης παρουσιάζονται πολλαπλές στατικές και δυναμικές αναπαραστάσεις, με τη χρήση ποικίλων κωδικών αναπαράστασης και τρόπων παρουσίασης για την υποστήριξη της μάθησης.

Η χρησιμοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων από τους διδάσκοντες για την περιγραφή μιας χημικής έννοιας ή ενός φαινομένου αποτελεί πάγια αναγκαιότητα των



χημικών, διότι καθένας από αυτούς τους διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης είναι χρήσιμος, αφού μπορεί να εμπεριέχει, είτε συμπληρωματικές είτε διαφορετικές εννοιολογικές, οπτικές ή χωρικές πληροφορίες για την έννοια που αναπαριστούν. Ακόμα οι μαθητευόμενοι αποκομίζουν πολλαπλά οφέλη από την χρήση της συνδυασμένης χρήσης πολλαπλών αναπαραστάσεων. Αυτά τα οφέλη οφείλονται στις διαφορετικές παιδαγωγικές και γνωστικές λειτουργίες τους (Αντώνογλου, 2011).

Οι μαθητευόμενοι σε ένα μάθημα Χημείας θα πρέπει να αντιλαμβάνονται τις χημικές αναπαραστάσεις, δηλαδή να μπορούν να τις αποκωδικοποιούν να τις ερμηνεύουν και να δημιουργούν συσχετίσεις μεταξύ τους, αλλά και να μπορούν να αναπτύξουν τις κατάλληλες δεξιότητες ώστε να μπορούν να αντιλαμβάνονται και να κατανοούν την τρισδιάστατη και τη δυναμική φύση των χημικών αναπαραστάσεων (Ardac, 2005).

#### **1.4 Οπτικές Αναπαραστάσεις**

Για να κατανοήσουμε το ρόλο των οπτικών αναπαραστάσεων στη διδασκαλία και στη μάθηση της Χημείας, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο ο τρόπος με τον οποίο έχουν σχεδιαστεί, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο ερμηνεύονται από διαφορετικούς εκπαιδευόμενους. Οι εκπαιδευόμενοι μπορεί να έχουν περισσότερες δυσκολίες κατανόησης των γραφικών από ό,τι είχε αρχικά υποθεθεί. Ακόμα κι αν ένα συγκεκριμένο γραφικό μπορεί να σχεδιαστεί για να είναι χρήσιμο γνωστικά, μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι λειτουργικά άχρηστο εάν ο εκπαιδευόμενος δεν αντιλαμβάνεται την πληροφορία με τον προβλεπόμενο τρόπο. Πολλές από τις αρχές σχεδιασμού που προέρχονται από τη γνωστική θεωρία του φορτίου, δεν ισχύουν γενικά λόγω των διαφορών μεταξύ των εκπαιδευόμενων. Αυτές οι ατομικές διαφορές, ειδικά η προηγούμενη γνώση, είναι κρίσιμης σημασίας διότι καθορίζει τι επιρροή θα έχουν οι οπτικές αναπαραστάσεις και ο σχεδιασμός τους, στις γνωστικές διαδικασίες των μαθητευόμενων.

Οι οπτικές αναπαραστάσεις στη Χημεία υποστηρίζουν τη μάθηση και την κατανόηση της επιστήμης αυτής με τους εξής τρόπους:

- Ενσωματώνουν πολλαπλάσια ποσότητα πληροφορίας σε σχέση με μια λεκτική αναπαράσταση (προφορική ή γραπτή)
- Προσελκύουν την προσοχή και το ενδιαφέρον των μαθητευόμενων
- Διευκολύνουν στη διατήρηση στη μνήμη των εννοιών που αναπαριστούν για περισσότερο χρόνο από ό,τι αν ήταν σε μορφή κειμένου

- Ενισχύουν την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων (υποστηρίζουν την ανάλυση και την σύνθεση ενός προβλήματος)
- Διευκολύνουν την ενσωμάτωση της νέας γνώσης στην προϋπάρχουσα γνώση
- Συμβάλλουν στην επικοινωνία επιστημονικών εννοιών και στην ανάπτυξη ενός κοινού κώδικα για την προσέγγιση και την κατανόησή τους.

### **1.5 Μοριακές Αναπαραστάσεις στη Χημεία**

Ανάμεσα στις χημικές αναπαραστάσεις, ξεχωριστό ρόλο κατέχουν οι μοριακές αναπαραστάσεις, οι οποίες αποτελούν ένα από τα βασικά αντικείμενα διερεύνησης και μελέτης της Χημείας. Οι χημικοί έχουν αναπτύξει πληθώρα δισδιάστατων (2D) και τρισδιάστατων (3D) μοριακών αναπαραστάσεων.

Οι δισδιάστατες (2D) μοριακές αναπαραστάσεις αποτελούν συμβολικές αναπαραστάσεις της μοριακής δομής και συνήθως είναι δισδιάστατα γραφικά, στα οποία χρησιμοποιούνται μια σειρά από συμβολικές συμβάσεις για να αποτυπώσουν την μοριακή δομή και τις ιδιότητές της. (Wu, 2004).

Οι τρισδιάστατες (3D) μοριακές αναπαραστάσεις αποτελούν μια ειδική κατηγορία συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων και δημιουργούνται με τη βοήθεια υπολογιστή. Οι τρισδιάστατες ψηφιακές οπτικοποιήσεις έχουν τη δυνατότητα να προσεγγίσουν με πιο αποτελεσματικό τρόπο την πραγματική φύση της μοριακής δομής, η οποία είναι δύσκολο να περιγραφεί λεκτικά ή να αποδοθεί μέσα από τις δισδιάστατες αναπαραστάσεις. Στις αναπαραστάσεις αυτές εκτός από τις συμβολικές συμβάσεις, για να αποδοθούν οι τρισδιάστατες χωρικές σχέσεις μιας μοριακής δομής, χρησιμοποιούνται τα τέσσερα σήματα προοπτικής (depth cues), τα οποία είναι η προοπτική απεικόνισης (μείωσης μήκους των γραμμών), η προοπτική απεικόνισης των γωνιών, το σχετικό μέγεθος διαφόρων μερών της δομής και η επικάλυψη διαφόρων μερών της δομής και τα τρισδιάστατα σήματα προοπτικής (3D cues), όπως είναι οι φωτοσκιάσεις, η υφή και η προοπτική (Αντώνογλου, 2011; Wu, 2004; Jones, 2005).

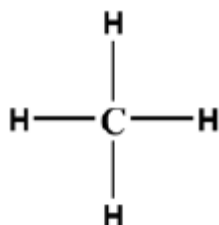
#### **1.5.1 Δισδιάστατες Μοριακές Αναπαραστάσεις**

Στη χημική εκπαίδευση χρησιμοποιούνται διάφορες μορφές δισδιάστατων αναπαραστάσεων με διαφορετική ποσότητα χωρικής και εννοιολογικής πληροφορίας για την υποστήριξη της κατανόησης της μοριακής δομής. Οι δισδιάστατες συμβολικές αναπαραστάσεις αποτελούν διαγραμματικές απεικονίσεις της μοριακής δομής, τις

οποίες οι μαθητευόμενοι μπορούν να σχεδιάζουν πάνω στο χαρτί με το χέρι, ή στον πίνακα ή να δουν ως γραφικά πάνω στην οθόνη του υπολογιστή. Η επεξεργασία και η διερεύνηση των 2D γραφικών μοριακών αναπαραστάσεων προϋποθέτει ότι οι οπτικοχωρικές πληροφορίες παρουσιάζονται με μια ευανάγνωστη μορφή (Αντώνογλου, 2011).

Οι μαθητευόμενοι συναντούν τέτοιες αναπαραστάσεις μέσα στα βιβλία, στον πίνακα κατά την ώρα της διδασκαλίας, σε σχεδιαστικά προγράμματα 2D μοριακών αναπαραστάσεων και σε κινούμενα σχέδια, τα οποία αποτελούν μια γρήγορη αλληλουχία 2D γραφικών αναπαραστάσεων. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι δισδιάστατων μοριακών αναπαραστάσεων είναι:

- Οι **μοριακοί τύποι** που ενσωματώνουν πληροφορίες για το είδος των ατόμων (ποια είναι τα χημικά στοιχεία) αλλά και τον αριθμό των ατόμων, που περιέχονται σε μια μοριακή δομή. Στους μοριακούς τύπους εμφανίζονται γράμματα τα οποία αποτελούν σύμβολα των χημικών στοιχείων των ατόμων και αριθμοί που μαρτυρούν τον ακριβή αριθμό των ατόμων που συγκροτούν την μοριακή δομή. Για παράδειγμα ο μοριακός τύπος του νερού ( $H_2O$ ) δίνει την πληροφορία ότι, ένα μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου (H) και ένα άτομο οξυγόνου (O).
- Οι **συντακτικοί τύποι** που παρουσιάζουν την συνδεσιμότητα των ατόμων τα οποία συμμετέχουν στο μόριο, χωρίς όμως να δίνουν πληροφορίες για την διευθέτησή τους στο χώρο. Οι δεσμοί αναπαρίστανται με γραμμές που συνδέουν τα σύμβολα των χημικών στοιχείων που απαρτίζουν το μόριο. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 1) παρουσιάζεται ο συντακτικός τύπος του μεθανίου ( $CH_4$ ) όπου παρατηρείται ότι ένα άτομο άνθρακα (C) συνδέεται με απλό δεσμό με τέσσερα άτομα υδρογόνου (H).



Εικόνα 1: Ο συντακτικός τύπος του μεθανίου ( $CH_4$ )

- Οι **στερεοχημικοί τύποι** που εμπεριέχουν χωρικές πληροφορίες για τη μοριακή δομή. Η διευθέτηση των δεσμών στο χώρο αποδίδεται γραφικά μέσα

στα σύμβολα τα οποία καθιέρωσαν οι χημικοί για την τρισδιάστατη αναπαράσταση της μοριακής δομής. Στην τετραεδρική δομή του μεθανίου που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2) οι έντονες γραμμές αναπαριστούν δεσμούς που βγαίνουν από το επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης του υπολογιστή και κατευθύνονται προς το μέρος του παρατηρητή. Οι στικτές γραμμές αναπαριστούν δεσμούς που προσανατολίζονται πίσω από το επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης του υπολογιστή και απομακρύνονται από τον παρατηρητή. Τέλος οι απλές γραμμές αναπαριστούν απλούς δεσμούς πάνω στο επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης. Για να διαβαστεί αυτή η δομική αναπαράσταση, θα πρέπει πρώτα να κατανοηθούν οι εγγενείς συμβάσεις, που αφορούν τις στικτές και έντονες γραμμές.

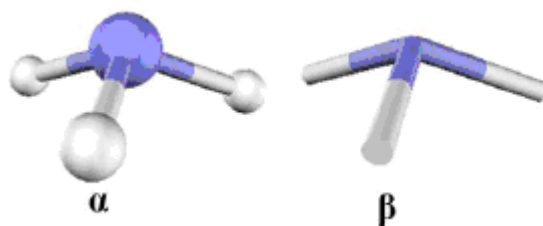


Εικόνα 2: 2D αναπαράσταση της δομής του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ )

### 1.5.2 Τρισδιάστατες Μοριακές Αναπαραστάσεις

Οι τρισδιάστατες μοριακές οπτικοποιήσεις αποτελούν μια ειδική κατηγορία συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων που απεικονίζουν τις χωρικές σχέσεις μέσα και ανάμεσα στις μοριακές δομές στις τρεις διαστάσεις. Η δόμηση και η παρουσίαση τρισδιάστατων μοριακών μοντέλων πραγματοποιείται με επιστημονικά – ερευνητικά λογισμικά μοριακής οπτικοποίησης, τα οποία προσαρμόζονται κατά περίπτωση και χρησιμοποιούνται για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Μάλιστα πολλοί ερευνητές πρότειναν τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών τρισδιάστατης οπτικοποίησης για την υποστήριξη της κατανόησης και της αντίληψης της τρισδιάστατης μοριακής δομής και των ιδιοτήτων της από τους εκπαιδευόμενους, καθώς και τη βελτίωση της διδασκαλίας της Χημείας (Barnea & Dori, 1996; Dori & Barak, 2001).

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 3) παρουσιάζονται δύο τρισδιάστατα (3D) μοριακά μοντέλα της μοριακής δομής της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) με διαφορετική κωδικοποίηση και διαφορετική ποσότητα εννοιολογικής πληροφορίας.



**Εικόνα 3:** Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις σε υπολογιστή της τετραεδρικής δομής της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ )

Στην πρώτη αναπαράσταση παρουσιάζεται ένα μοντέλο σφαιρών και ράβδων (ball and stick model), όπου τα άτομα αναπαρίστανται ως σφαίρες και οι δεσμοί ως ράβδοι. Στο μοντέλο αυτό αποδίδεται η πυραμιδική δομή της αμμωνίας στο χώρο με την χρήση των τεσσάρων σημάτων προοπτικής σε συνδυασμό με τα τρία σήματα προοπτικής των τρισδιάστατων μοριακών δομών (3D cues). Ακόμα περιέχει εννοιολογικές πληροφορίες για το είδος των ατόμων για το σχετικό μέγεθος της ατομικής τους ακτίνας για την συνδεσιμότητα των ατόμων και για το είδος των δεσμών. Τα τρία άτομα του υδρογόνου αναπαρίστανται με λευκές σφαίρες ίδιου μεγέθους, ενώ το κεντρικό άτομο του αζώτου διαφοροποιείται και αναπαρίσταται με μια μεγαλύτερου μεγέθους κυανή σφαίρα. Το άτομο του αζώτου έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από το άτομο του υδρογόνου και αυτό μπορεί να φαίνεται από το ότι έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικού μεγέθους σφαίρες. Οι ισοδύναμοι δεσμοί N-H έχουν ίδιο μήκος και οι διεδρες γωνίες που σχηματίζουν μεταξύ τους είναι ίσες. Στις γωνίες και στα μήκη των πλευρών επιδρούν τα σήματα προοπτικής (Εικόνα 3).

Στη δεύτερη τρισδιάστατη αναπαράσταση απεικονίζονται μόνο οι δεσμοί ως ράβδοι (wireframe), ενώ τα άτομα υπονοούνται από το χρώμα των άκρων των δεσμών. Άρα σε αυτήν την περίπτωση η πληροφορία όπως του σχετικού μεγέθους των ατόμων παραλείπεται (Εικόνα 3) (Αντώνογλου, 2011).

### **1.6 Αναπαραστασιακή Επιδεξιότητα στη Χημεία**

Οι χημικοί έχουν αναπτύξει την ικανότητα να «βλέπουν» τη Χημεία στο μυαλό τους μέσα από εικόνες, μόρια και τους μετασχηματισμούς τους. Επίσης οι χημικοί χρησιμοποιούν πληθώρα συμβολικών αναπαραστάσεων. Φαίνεται να υπάρχει μια στενή σχέση ανάμεσα στην κατανόηση των χημικών φαινομένων από τους χημικούς και στις αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούν, προκειμένου να αναπαραστήσουν αυτά τα φαινόμενα.

Ο όρος αναπαραστασιακή επιδεξιότητα χρησιμοποιείται, για να περιγραφεί ένα σύνολο από δεξιότητες και πρακτικές οι οποίες επιτρέπουν σε ένα άτομο στοχαστικά να χρησιμοποιεί μια σειρά από αναπαραστάσεις ή οπτικοποιήσεις μεμονωμένα ή μαζί, να σκέφτεται να επικοινωνεί και να ενεργεί πάνω στα χημικά φαινόμενα.

Η αναπαραστασιακή επιδεξιότητα εκδηλώνεται μέσα από την ενεργοποίηση μιας ή περισσότερων από τις παρακάτω γνωστικές συνδέσεις (Kozma, 2005; Harle, 2010):

- Συνδέσεις ανάμεσα σε εννοιολογικές πληροφορίες των εξωτερικών και των εσωτερικών νοητικών αναπαραστάσεων
- Συνδέσεις ανάμεσα σε χωρικές πληροφορίες των εξωτερικών και των εσωτερικών νοητικών παραστάσεων
- Συνδέσεις ανάμεσα σε χωρικές και εννοιολογικές πληροφορίες ενός γνωστικού συστήματος ή αναπαράστασης

Οι παρακάτω δεξιότητες θα μπορούσαν να αποτελέσουν τον πυρήνα ενός προγράμματος σπουδών Χημείας, προκειμένου να αναπτυχθεί η αναπαραστασιακή επιδεξιότητα των εκπαιδευόμενων (Kozma, 2005; Harle, 2010):

- Η ικανότητα να χρησιμοποιούν αναπαραστάσεις για να περιγράψουν παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα
- Η ικανότητα να παράγουν ή να επιλέγουν μια αναπαράσταση και να εξηγούν γιατί είναι κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο σκοπό
- Η ικανότητα να χρησιμοποιούν λέξεις για να εντοπίζουν και να αναλύουν τα χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης αναπαράστασης
- Η ικανότητα να περιγράφουν, πώς με διαφορετικές αναπαραστάσεις θα μπορούσαμε να πούμε το ίδιο πράγμα με διαφορετικούς τρόπους και να εξηγήσουν, πώς μια αναπαράσταση θα μπορούσε να πει κάτι διαφορετικό ή κάτι που δε μπορεί να ειπωθεί με μια άλλη
- Η ικανότητα να κάνουν τις συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών αναπαραστάσεων, να εντοπίσουν συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών ενός τύπου αναπαράστασης με αυτών μιας άλλης αναπαράστασης και να εξηγήσουν τη σχέση μεταξύ τους
- Η ικανότητα να αναλάβουν την επιστημολογική θέση ότι οι αναπαραστάσεις αντιστοιχούν, αλλά είναι διαφορετικές από τα φαινόμενα που παρατηρούνται
- Η ικανότητα να χρησιμοποιούν αναπαραστάσεις και τα χαρακτηριστικά τους σε κοινωνικές καταστάσεις, για να υποστηρίξουν τους ισχυρισμούς τους, να

εξάγουν συμπεράσματα και να κάνουν προβλέψεις για παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα (Kozma, 2005; Harle, 2010)

Η χρησιμοποίηση αναπαραστάσεων προκειμένου να κατανοηθεί με επιτυχία το χημικό φαινόμενο, καταρχάς αποτελεί τον σκοπό της αναπαράστασης και επιβεβαιώνει την ικανότητα του χρήστη να συμμετέχει σε αυτήν την αναπαραστασιακή δραστηριότητα κατανόησης. Τα άτομα με χαμηλή αναπαραστασιακή επιδεξιότητα εμμένουν στα βασικά χαρακτηριστικά μιας αναπαράστασης ή στη μηχανική εφαρμογή κανόνων, ενώ τα άτομα με μεγαλύτερη αναπαραστασιακή επιδεξιότητα χρησιμοποιούν μια πληθώρα από επίσημες ή ανεπίσημες αναπαραστάσεις μαζί, για να εξηγήσουν φαινόμενα, να λύσουν προβλήματα, να υποστηρίζουν τους ισχυρισμούς τους και να κάνουν προβλέψεις.

## 2. Οπτικοχωρική Ικανότητα και Χημεία

### 2.1 Επίλυση Προβλημάτων στην Χημεία

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών, έγινε πολλή ερευνητική δουλειά στη μελέτη των γνωστικών διεργασιών στη μάθηση της Χημείας. Μεγάλο μέρος αυτής της έρευνας ασχολείται με την κατανόηση των γνωστικών δομών των εκπαιδευόμενων και την εννοιολογική μάθηση. Μελετώνται οι απόψεις των εκπαιδευόμενων σχετικά με επιστημονικά φαινόμενα, το πώς οι εκπαιδευόμενοι μαθαίνουν, καθώς και το πώς οι ιδέες τους μπορούν να αλλάξουν.

Αρκετοί ερευνητές προτείνουν μια γεφύρωση μεταξύ της γνωστικής μελέτης της επιστημονικής γνώσης των εκπαιδευόμενων και της επίλυσης προβλημάτων Χημείας από αυτούς. Μάλιστα οι Gabel και Bunce (1994) μελετώντας έρευνες που αφορούσαν την επίλυση προβλημάτων στη Χημεία, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι εκπαιδευόμενοι για να λύσουν τα προβλήματα στηρίζονται κυρίως στη χρήση αλγορίθμων και όχι στην σημασία των χημικών αναπαραστάσεων.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την επίλυση προβλημάτων στη Χημεία, είναι η σχετική γνώση (relevant knowledge) των βασικών επιστημονικών εννοιών και των αρχών που υπάρχουν ως προηγούμενη γνώση, στη μνήμη του εκπαιδευόμενου που θα λύσει το πρόβλημα. Δύο τύποι γνώσης έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικοί για την επίλυση ενός προβλήματος. Ο ένας τύπος είναι οι ειδικές γνώσεις που σχετίζονται άμεσα με το πρόβλημα, ενώ ο άλλος αφορά τις μη ειδικές αλλά σχετικές γνώσεις που σχετίζονται με το γνωστικό αντικείμενο του προβλήματος. Οι δύο αυτοί τύποι γνώσης σχετίζονται με γνωστικές μεταβλητές, οι οποίες καταμετρούν την ικανότητα του εκπαιδευόμενου για αποθήκευση στη μνήμη και αποκαλούνται προηγούμενη γνώση.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επίλυση προβλημάτων είναι η ενσωμάτωση και αφομοίωση της γνωστικής δομής. Σύμφωνα με τη γνωστική θεωρία μάθησης του Ausubel, η ουσιαστική μάθηση περιλαμβάνει την αποτελεσματική σύνδεση μεταξύ των νέων και υφιστάμενων γνώσεων της γνωστικής δομής. Οι τρεις πτυχές της σύνδεσης που είναι σημαντικές στη διαδικασία μάθησης στον τομέα της επιστήμης περιλαμβάνουν: (1) τον εσωτερικό δεσμό σε μία γνωστική δομή (2) την ενεργοποίηση του σε ένα συγκεκριμένο μέρος της γνωστικής δομής για μάθηση και (3) την εξωτερική σύνδεση ανάμεσα σε μια υπάρχουσα γνωστική δομή και το νέο μαθησιακό περιεχόμενο.



Επίσης όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, η δεξιότητα της μετάφρασης προβλημάτων, είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επίλυσή τους. Αυτή η δεξιότητα μετρά την ικανότητα του εκπαιδευόμενου να κατανοήσει, να αναλύσει, να ερμηνεύσει και να καθορίσει ένα δεδομένο πρόβλημα. Η εμπειρία από την επίλυση προηγούμενων προβλημάτων βοηθάει στην επίλυση παρόμοιων προβλημάτων.

Για τη βελτίωση της ικανότητας των εκπαιδευόμενων στην επίλυση προβλημάτων Χημείας, θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί να προσανατολίζουν την διδασκαλία τους στην κατανόηση των χημικών αναπαραστάσεων, πάνω στις οποίες βασίζονται τα προς επίλυση προβλήματα (Lee, 1996).

## **2.2 Δυσκολίες στη Μάθηση και στην Κατανόηση Εννοιών της Χημείας**

Η διδασκαλία και η μάθηση της Χημείας, έχει ως πυρήνα τη μάθηση μέσα από τα μοντέλα και τις χημικές αναπαραστάσεις και επικεντρώνεται στη μάθηση για τα μοντέλα και τις χημικές αναπαραστάσεις. Οι δυσκολίες των εκπαιδευόμενων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η μία αφορά δυσκολίες ερμηνείας και χειρισμού των χημικών αναπαραστάσεων και η άλλη αφορά δυσκολίες των εκπαιδευόμενων στο να σκέφτονται και να επιχειρηματολογούν με χημικές αναπαραστάσεις.

Τρεις είναι οι βασικοί τύποι των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευόμενοι. Αρχικά η πλειοψηφία των εκπαιδευόμενων δεν μπορεί να ερμηνεύσει κατάλληλα τις έννοιες των χημικών αναπαραστάσεων. Ερευνητές διερεύνησαν τις περιγραφές που δημιούργησαν οι εκπαιδευόμενοι (πχ το μακροσκοπικό επίπεδο, το ατομικό μοριακό επίπεδο) όταν χρησιμοποιήθηκαν χημικά σύμβολα και τύποι. Οι περισσότεροι δημιουργούσαν μακροσκοπικές περιγραφές, όπως για παράδειγμα είναι οι φυσικές ιδιότητες μιας ένωσης, ενώ τα ατομικά και μοριακά μοντέλα που χρησιμοποιούσαν προκειμένου να εξηγήσουν τα φαινόμενα, δεν ήταν τα κατάλληλα. Φαίνεται ότι οι εκπαιδευόμενοι βασίζονται σε διαισθητικά νοητικά μοντέλα των ατόμων και των μορίων στις εξηγήσεις τους ή στις περιγραφές τους σχετικά με αυτές τις αναπαραστάσεις. Επιπλέον πιθανόν να βλέπουν τους χημικούς τύπους σαν να αντιπροσωπεύουν ένα μόριο χωρίς την έννοια των ατόμων ή της συλλογής. Μερικοί εκπαιδευόμενοι, ακόμα και μετά την ουσιαστική διδασκαλία στη Χημεία, συνεχίζουν να βλέπουν τους τύπους ως συντομογραφίες για ονόματα, παρά ως έναν τρόπο που αναπαριστά τη σύνθεση ή τη δομή ενός μορίου.

Ακόμα εκτός από την δυσκολία της ερμηνείας μιας αναπαράστασης, σε σύγκριση με τους χημικούς, οι εκπαιδευόμενοι είναι λιγότερο ικανοί να παρέχουν ισοδύναμες

αναπαραστάσεις για μια συγκεκριμένη αναπαράσταση. Ένα μεγάλο μέρος των εκπαιδευόμενων, σύμφωνα με τους ερευνητές Keig & Rubba (1993), δεν είναι σε θέση να κάνει μετασχηματισμούς μεταξύ χημικών τύπων, ηλεκτρονιακών τύπων και μοριακών μοντέλων σφαιρών και ράβδων. Αλλά η ικανότητα των εκπαιδευόμενων για μετάφραση των αναπαραστάσεων, σχετίζεται με την κατανόηση των υποκείμενων εννοιών. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το να κάνει κάποιος μετάφραση μεταξύ των αναπαραστάσεων, είναι μια διεργασία που απαιτεί τη βαθιά κατανόηση των υποκείμενων εννοιών. Η εννοιολογική γνώση επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να μεταφράσουν την πληροφορία που παρέχεται από την αρχική αναπαράσταση και να εξάγουν τις λεπτομέρειες, με σκοπό να κατασκευάσουν την τελική αναπαράσταση .

Η τρίτη δυσκολία περιλαμβάνει τους νοητικούς μετασχηματισμούς μεταξύ των δισδιάστατων και των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων. Πολλοί εκπαιδευόμενοι δεν είναι ικανοί να αναπτύξουν τρισδιάστατες (3D) μοριακές αναπαραστάσεις παρατηρώντας δισδιάστατες (2D) μοριακές δομές και να χειριστούν πχ να περιστρέψουν νοητικά τρισδιάστατες αναπαραστάσεις. Προκειμένου να δημιουργήσουν με επιτυχία μια τρισδιάστατη αναπαράσταση από ένα δισδιάστατο διάγραμμα, απαιτείται από τους εκπαιδευόμενους να αποκωδικοποιήσουν τη νοητική πληροφορία που παρέχεται από τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα και τα σήματα προοπτικής που εφαρμόζονται. Κάποιοι εκπαιδευόμενοι δε μπορούν να εντοπίσουν σωστά τα σήματα προοπτικής και ακόμα και αν το κάνουν, δεν είναι σε θέση να παρακολουθήσουν νοητικά, πώς τα σήματα προοπτικής αλλάζουν μετά από μια περιστροφή. Αυτό κάνει τη νοητική περιστροφή των χημικών δομών δύσκολη για τους εκπαιδευόμενους (Wu, 2001).

### **2.2.1 Δυσκολίες στη Μάθηση με τη Χρήση Μοριακών Αναπαραστάσεων**

Οι δυσκολίες στη μάθηση και την κατανόηση των χημικών εννοιών, οφείλονται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των μοριακών αναπαραστάσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνοψίζονται παρακάτω:

- Η οπτική λεπτομέρεια αναφέρεται σε δυσκολίες κατανόησης και ερμηνείας των χωρικών σχέσεων στις μοριακές οπτικοποιήσεις. Οι δυσκολίες αυτές αφορούν την αντίληψη των σχετικών μεγεθών, των αποστάσεων και των γωνιών στα διάφορα μέρη της μοριακής δομής, ιδιαίτερα όταν θα πρέπει να συγκριθούν μοριακές οπτικοποιήσεις που παρουσιάζουν δομές από διαφορετική προοπτική.

- Η πολυπλοκότητα αφορά το αυξημένο βάθος και την ποσότητα της κωδικοποιημένης στην αναπαράσταση πληροφορίας που καθιστούν πολύπλοκη τη διαδικασία σύλληψης, αποκωδικοποίησης και ερμηνείας των μοριακών αναπαραστάσεων. Η δυσκολία αυτή αυξάνεται όταν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και να συγκριθούν δύο σύνθετες μοριακές αναπαραστάσεις μεταξύ τους. Αν και οι εκπαιδευόμενοι ωφελούνται όταν χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους αναπαραστάσεων, τους είναι δύσκολο να μάθουν για τον κάθε έναν από αυτούς, καθώς και να αναπτύξουν εννοιολογικές συσχετίσεις μεταξύ τους. Οι εκπαιδευόμενοι θεωρούν την κάθε μια από τις διαθέσιμες αναπαραστάσεις, ως επιπλέον προσπάθεια για μάθηση και όχι ως μέσο για την εξήγηση αυτού που έχουν να κάνουν (Kozma & Rusell, 1997; Wu & Shah, 2004; Keig & Rubba, 1993; Tuckey, 1991).
- Η αφαιρετικότητα είναι το χαρακτηριστικό που δυσκολεύει ιδιαίτερα κατά τα πρώτα στάδια χρήσης των μοριακών αναπαραστάσεων τους εκπαιδευόμενους να αποκωδικοποιήσουν και να ερμηνεύσουν τις γραφικές συμβάσεις που εφαρμόζονται σε αυτές και να εξάγουν τις αναπαριστώμενες υποκείμενες χημικές έννοιες. Έτσι θα πρέπει να γίνει κατανοητό στους εκπαιδευόμενους ότι ένα μοριακό μοντέλο είναι ένα σύμβολο το οποίο αντιστοιχεί σε μια πραγματική οντότητα, η οποία ωστόσο δεν έχει κανένα από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του συμβόλου που χρησιμοποιείται για την αναπαράστασή της. Παρατηρήθηκε ότι οι αρχάριοι χρησιμοποιούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των συμβολικών αναπαραστάσεων, για να εξηγήσουν τα χημικά φαινόμενα που αναπαριστούν. Αυτό έχει ως συνέπεια να μη μπορούν να προχωρήσουν σε μια βαθύτερη κατανόηση των υποκείμενων χημικών εννοιών και να μην μπορούν να αντιληφθούν ότι μέσα σε συμβολικές αναπαραστάσεις με διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά μπορεί να εμπεριέχεται η ίδια αρχή, έννοια ή χημική διεργασία (Kozma & Rusell, 1997; Wu & Shah, 2004; Jones, 2001).
- Η εννοιολογική υπόσταση αφορά τις επιστημονικές έννοιες με τις οποίες είναι συνδεδεμένες οι αναπαραστάσεις. Οι εκπαιδευόμενοι δυσκολεύονται να συνδέσουν τις μοριακές αναπαραστάσεις με τις έννοιες που αναπαριστούν. Η εννοιολογική τους γνώση, τους επιτρέπει να επεξεργαστούν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των συμβολικών αναπαραστάσεων και να σχηματίσουν μια

νοητική εννοιολογική παράσταση. Ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι δυσκολίες αυτές σχετίζονται με την κατανόηση της εννοιολογικής υπόστασης των αναπαραστάσεων, καθώς και το ότι οι μεταφράσεις ανάμεσα σε διαφορετικές συμβολικές αναπαραστάσεις είναι μια διεργασία επεξεργασίας πληροφοριών που απαιτεί την βαθύτερη κατανόηση των εννοιών που αναπαριστώνται (Wu & Shah, 2004; Keig & Rubba, 1993).

## **2.2.2 Δυσκολίες κατά την Μάθηση των Μοντέλων και των Μοριακών**

### **Αναπαραστάσεων**

Η άποψη μιας συμβολικής χημικής αναπαράστασης που είναι γνωστή και θεωρείται δεδομένη από τους «εμπειρογνώμονες», για παράδειγμα από τους χημικούς, δεν μπορεί πάντα να είναι κατανοητή από τους μαθητευόμενους (Taber, 2009). Υπάρχει επομένως η ανάγκη για σαφή κατανόηση των συμβάσεων και των μορφών των μοριακών αναπαραστάσεων και αυτό θα επιτευχθεί με την διδασκαλία αυτών των συμβάσεων. Διότι χωρίς μια τέτοια αντίληψη, οι μαθητευόμενοι δεν μπορούν να απεικονίσουν στη συνέχεια τα χωρικά και διαρθρωτικά χαρακτηριστικά ενός μορίου (Bucat & Mocerino, 2009). Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητευόμενοι κατά την μάθηση των συμβολικών χημικών αναπαραστάσεων σύμφωνα με τις Wu και Shah (2004) είναι οι παρακάτω:

- Δυσκολίες στην αναπαράσταση των χημικών εννοιών στο μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο
- Δυσκολίες στην αναγνώριση των συμβολικών συμβάσεων και τα σήματα προοπτικής των μοριακών αναπαραστάσεων
- Δυσκολίες απομάκρυνσης από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων και αντίληψης των υποκείμενων χημικών εννοιών
- Δυσκολίες μετάφρασης ανάμεσα σε διαφορετικές αναπαραστάσεις (για παράδειγμα ανάμεσα σε χημικούς τύπους, μοριακά μοντέλα και ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις)
- Δυσκολίες εννοιολογικής αντίληψης των συμβολικών και μοριακών αναπαραστάσεων και δυσκολία εννοιολογικής σύνδεσης μεταξύ διαφορετικών χημικών αναπαραστάσεων
- Δυσκολίες κατανόησης της δυναμικής φύσης των χημικών διεργασιών και της μοριακής δομής, μέσα από την παρατήρηση των συμβολικών αναπαραστάσεων

- Δυσκολίες νοητικής μεταφοράς μεταξύ δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοριακών αναπαραστάσεων (Wu & Shah, 2004).

### **2.2.3 Δυσκολίες Μεταφοράς ανάμεσα σε 2D και 3D Συμβολικές Μοριακές**

#### **Αναπαραστάσεις**

Εκτός από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευόμενοι προκειμένου να αντιληφθούν τις αναπαραστάσεις, πολλοί από αυτούς δεν είναι ικανοί να ορίσουν ισοδύναμες αναπαραστάσεις από μια αρχική αναπαράσταση, λόγω έλλειψης της γνώσης του περιεχομένου ή λόγω έλλειψης της δεξιότητας της οπτικοχωρικής σκέψης. Οι εκπαιδευόμενοι έχουν δυσκολίες στο να καθορίσουν μοριακές δομές όταν δίνονται εμπειρικοί τύποι και οι προσπάθειές τους για τη μετάφραση των αναπαραστάσεων, δε σχετίζονται με την οπτικοχωρική τους ικανότητα, αλλά με την εννοιολογική κατανόηση των αναπαραστάσεων. Οπότε με βάση την εννοιολογική τους γνώση, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να μεταφράζουν την πληροφορία, η οποία προέρχεται από την αρχική αναπαράσταση και να συμπεράνουν τις λεπτομέρειες για τη δημιουργία της τελικής αναπαράστασης.

Ειδικά οι μεταφράσεις ανάμεσα στις δισδιάστατες (2D) και τις τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις εμφανίζουν δυσκολίες, εξαιτίας της μη ικανότητας των εκπαιδευόμενων να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν αναπαραστασιακή επιδεξιότητα προκειμένου να κάνουν τη νοητική διεργασία (Wu & Shah, 2004). Οι Tuckey, Selvaratham και Bradley (1991) υποστηρίζουν ότι οι δυσκολίες αυτές προκαλούνται ή από το γεγονός ότι δεν ακολουθούν βήμα προς βήμα τη διαδικασία μετάφρασης ή ότι αδυνατούν να ολοκληρώσουν ένα ή περισσότερα βήματα αυτής. Ο Tuckey και οι υπόλοιποι, ανέλυσαν τη διεργασία του κατοπτρισμού και της περιστροφής 3D μοριακών δομών σε μια σειρά από γνωστικά συστατικά και ανέπτυξαν με αυτά στιγμιότυπα μιας εφαρμογής, για να ελέγξουν καθένα από αυτά τα γνωστικά συστατικά.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, έχουν δείξει ότι πολλοί εκπαιδευόμενοι αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν τα σήματα προοπτικής και έχουν δυσκολίες στο να αναγνωρίσουν τους άξονες και τα επίπεδα. Οι δισδιάστατες (2D) αναπαραστάσεις περιλαμβάνουν σύμβολα τα οποία θα πρέπει να μεταφραστούν τρισδιάστατα. Η αδυναμία τους για παράδειγμα να αναπτύξουν την τρισδιάστατη νοητική αναπαράσταση από την οπτικοποίηση μιας δισδιάστατης αναπαράστασης, οφείλεται στο γεγονός ότι σε κάποιες περιπτώσεις στις δισδιάστατες αναπαραστάσεις δεν

παρέχονται σήματα προοπτικής, για αυτό θα πρέπει να δίνεται μεγάλη βαρύτητα στο να παρέχεται στις αναπαραστάσεις η δυνατότητα αναγνώρισης τέτοιων σημάτων από τους εκπαιδευόμενους. Ως εκ τούτου θα πρέπει να εντοπίσουν σωστά όλα τα σήματα προοπτικής και να αναγνωρίσουν πώς αυτά αλλάζουν μετά από μετασχηματισμό, ώστε να οπτικοποιήσουν τα αποτελέσματα των νοητικών διεργασιών (Tuckey & Selvaratham, 2008).

Η χρήση των συμπαγών μοντέλων από τους εκπαιδευτικούς μέσα στην τάξη, βοηθάει τους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν τις έννοιες και τους δίνει τη δυνατότητα να κάνουν προβλέψεις και εξηγήσεις για το πώς θα μοιάζει η μοριακή δομή μετά την επίδραση μιας διεργασίας (πχ περιστρέφοντάς το συμπαγές μοντέλο προκειμένου να θεαθεί από διαφορετική γωνία). Οι διεργασίες αυτές απαιτούν από τους εκπαιδευόμενους να συνδέσουν τις οπτικές εικόνες των αναπαραστάσεων με τις σχετικές έννοιες. Με αυτόν τον τρόπο όμως τα στατικά μοντέλα αναπαριστούν τις χημικές έννοιες σε μακροσκοπικό επίπεδο (Wu & Shah, 2004; Gilbert & Osborne, 1980; Ingham & Gilbert, 1991). Ομοίως οι Ferk, Blejec & Gril (2003) και οι Kuo, Jones, Pulos & Hyslop (2004) κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα.

Η έρευνα που διεξήγαγε ο Ferk με τους συνεργάτες του (2003) σε μαθητευόμενους όλων των βαθμίδων, έδειξε ότι το μεγαλύτερο μέρος των συμμετεχόντων έλυσαν σωστά διεργασίες που αφορούσαν χειροπιαστά (concrete) ή ψευδο-χειροπιαστά (pseudo-concrete) μοριακά μοντέλα (πχ 3D μοριακά μοντέλα), παρά διεργασίες που αφορούσαν σε πιο αφηρημένα είδη αναπαραστάσεων, όπως διαγραμματικές αναπαραστάσεις, μοριακές αναπαραστάσεις (Ferk, 2003).

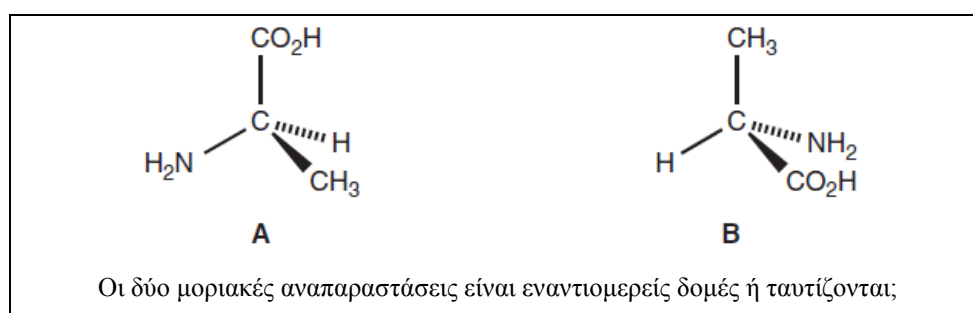
Οι Williamson και Abraham (1995) αποδίδουν τις δυσκολίες της μετάφρασης, ιδιαίτερα στους αρχάριους, στα μη ολοκληρωμένα και μη αποτελεσματικά νοητικά μοντέλα. Αντίθετα με τη χρήση των τρισδιάστατων διαδραστικών οπτικοποιήσεων, δίνεται η δυνατότητα να αλλάξουν και να βελτιώσουν οι εκπαιδευόμενοι τα μη ολοκληρωμένα νοητικά μοντέλα, καθώς να εξωτερικεύονται οι οπτικές ή εννοιολογικές σχέσεις μεταξύ των αναπαραστάσεων και να υποβοηθούνται οι εκπαιδευόμενοι στο να υλοποιούν μεταφράσεις μεταξύ διαφορετικών τύπων αναπαραστάσεων (Wu & Shah, 2004; Kozma, 2000; Hoffler, 2010; Tuckey & Selvaratham, 2008; Williamson & Abraham, 1995).

Οι Bodner & Domin (2000), με έρευνα που διεξήγαγαν κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για πολλούς εκπαιδευόμενους, δεν είναι εύκολο να φανταστούν την τρισδιάστατη μοριακή δομή από την δισδιάστατη συμβολική μοριακή αναπαράστασή της. Αυτό το

εύρημα συμφωνεί με ευρήματα προηγούμενων εργασιών (Seddon, Tariq, & Dos SantosViega, 1982, Seddon & Shubbar, 1984, Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991), όπου πολλοί εκπαιδευόμενοι αντιμετωπίζουν δυσκολίες σε διεργασίες που περιλαμβάνουν

- Τη μετάφραση μιας δισδιάστατης αναπαράστασης σε τρισδιάστατη νοητική αναπαράσταση
- Την εκτέλεση της νοητικής διεργασίας (περιστροφής ή κατοπτρισμού) στην τρισδιάστατη νοητική αναπαράσταση
- Την εκ νέου μετάφραση της τρισδιάστατης νοητικής αναπαράστασης σε δισδιάστατη αναπαράσταση (Bucat & Mocerino, 2009).

Οι Head & Bucat (2002) ανέφεραν τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων σε μαθητές και καθηγητές που αφορούν διεργασίες όπως η παρακάτω (Εικόνα 4):



**Εικόνα 4:** Ένα χαρακτηριστικό ερώτημα από συνέντευξη σε μαθητές και καθηγητές (Head & Bucat, 2002).

Ανέφεραν μεγάλες διαφορές στις δυνατότητες αναπαράστασης, τόσο των μαθητών όσο και των καθηγητών και ότι κάθε άτομο εφαρμόζει διαφορετικές στρατηγικές για τη λήψη των αποφάσεων. Οι περισσότεροι μαθητές εφάρμοσαν μια στρατηγική νοητικής περιστροφής για να ευθυγραμμίσουν ένα συγκεκριμένο δεσμό, σε κάθε δομή μειώνοντας έτσι το πρόβλημα, σε μια δισδιάστατη εξέταση αριστερόστροφου ή δεξιόστροφου προσανατολισμού, των άλλων τριών ομάδων (Bucat & Mocerino, 2009).

### 2.3 Χωρική Ικανότητα

Η έρευνα σχετικά με τη χωρική ικανότητα έχει μια μακρά ιστορία. Ήδη από το 1880 ο Sir Francis Galton αναφέρθηκε στις έρευνές του που σχετίζονταν με νοερές απεικονίσεις. Από εκείνη τη στιγμή οι ερευνητές έχουν ορίσει τη χωρική ικανότητα με

διάφορους τρόπους, προσπάθησαν να εντοπίσουν τα συστατικά της και ανέπτυξαν διάφορες μεθόδους για την μέτρησή τους. Η χωρική ικανότητα βρήκε τη θέση της στην αντίληψη της ανθρώπινης νοημοσύνης όταν ο Gardner (1983) στο έργο του, προτείνει ότι οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τουλάχιστον επτά σχετικά αυτόνομες μορφές νοημοσύνης (intelligences), μία από τις οποίες είναι η χωρική νοημοσύνη (spatial intelligence). Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή η χωρική νοημοσύνη δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να αντιληφθούν οπτική ή χωρική πληροφορία, να μετασχηματίσουν αυτή την πληροφορία και να είναι σε θέση να αναπτύξουν νοητικές αναπαραστάσεις ακόμα και όταν απουσιάζουν τα σχετικά φυσικά ερεθίσματα. Η χωρική ικανότητα αναφέρεται και ως χωρική νοημοσύνη στην βιβλιογραφία.

Τι είναι όμως η χωρική ικανότητα; Σύμφωνα με τον Linn & Petersen (1985) η χωρική ικανότητα αναφέρεται ως δεξιότητα αναπαράστασης, μετασχηματισμού, δημιουργίας και ανάκλησης μιας μη γλωσσικής (non-linguistic) πληροφορίας. Σύμφωνα με τον Lohman (1993) ορίζεται ως η ικανότητα να δημιουργήσει, εξασφαλίσει, επαναφέρει και να μετασχηματίσει καλά δομημένες οπτικές εικόνες.

Ωστόσο οι αντιφάσεις που υπάρχουν στη βιβλιογραφία στον τομέα της χωρικής ικανότητας, καθιστούν την έννοια δύσκολη στην κατανόηση. Σύμφωνα με την Oliviera (2004) αυτές οι αντιφάσεις συνοψίζονται ως εξής:

- Υπάρχουν ίδιες περιγραφές της ικανότητας με διαφορετικούς όρους
- Το πλήθος των συνιστωσών της χωρικής ικανότητας ποικίλει μεταξύ των ερευνητών και κυμαίνεται από δύο έως δέκα.
- Υπάρχουν πανομοιότυποι όροι για τις διαφορετικές συνιστώσες της χωρικής ικανότητας.
- Οι όροι των συνιστωσών της χωρικής ικανότητας ποικίλουν μεταξύ των συγγραφέων αλλά ακόμα και μέσα στο έργο του ίδιου συγγραφέα.
- Σύγχυση επικρατεί στο χώρο των ερευνητών, που αφορά στα ονόματα και στα περιεχόμενα της μεγάλης ποικιλίας των τεστ χωρικής ικανότητας

Οι Linn & Petersen (1985) ισχυρίστηκαν ότι, η χωρική ικανότητα δεν είναι ενιαίο κατασκεύασμα και σε αυτό συμφωνεί η πλειοψηφία των ερευνητών. Η χωρική ικανότητα αποτελείται από «υποδεξιότητες», όπως για παράδειγμα είναι η ικανότητα ανάγνωσης χαρτών, η επίλυση γεωμετρικών ερωτήσεων και η αναγνώριση τριδιάστατων αναπαραστάσεων από διδιάστατα αντικείμενα.



Το 1997 ο McGee συμπέρανε ύστερα από μελέτη της βιβλιογραφίας ότι, η χωρική ικανότητα αποτελείται από δύο συνιστώσες τη Χωρική Οπτικοποίηση (Spatial Visualization) και τον Χωρικό Προσανατολισμό (Spatial Orientation). Από την άλλη ο Lohman (1998) υποστήριξε ότι οι συνιστώσες της χωρικής ικανότητας είναι τρεις, περιλαμβάνοντας επιπλέον την Γρήγορη Περιστροφή (Speeded Rotation). Η Barnea (2000), όπως και οι Tuckey & Salvaratham (1993), κατηγοριοποίησε τους παράγοντες της χωρικής ικανότητας με βάση τα διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας τους:

- **Χωρική Οπτικοποίηση:** η ικανότητα να κατανοεί ακριβώς τα τρισδιάστατα αντικείμενα από τις δισδιάστατες αναπαραστάσεις τους
- **Χωρικός Προσανατολισμός:** η ικανότητα να φαντάζεται κάποιος πώς η αναπαράσταση θα μοιάζει από άλλη προοπτική
- **Χωρικές Σχέσεις:** η ικανότητα να χειρίζεται κάποιος νοητικά αντικείμενα, καθώς και να οπτικοποιεί τα αποτελέσματα των νοητικών διεργασιών σε αντικείμενα, όπως η περιστροφή, ο κατοπτρισμός και η αναστροφή

Ο John Carroll (1993) στη βιβλιογραφική του ανασκόπηση, ανάλυσε πάνω από 140 εργασίες και θεωρήθηκε από τους Hegarty & Waller (2005) ότι κάλυψε το μεγαλύτερο εύρος μελετών που αφορούν τις συνιστώσες της χωρικής ικανότητας. Συγκεκριμένα τα περισσότερα άρθρα αφορούσαν τεστ ικανοτήτων και τεστ επιδόσεων που εφαρμόστηκαν σε εφήβους και ενήλικα άτομα (Carroll 1993). Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, οι συνιστώσες της χωρικής ικανότητας είναι οι παρακάτω:

- **Χωρική Οπτικοποίηση (Spatial Visualization)** που αφορά στην ικανότητα να φαντάζεται το άτομο τη διαχείριση, την περιστροφή, τον κατοπτρισμό και την αναστροφή των αντικειμένων.
- **Χωρικές Σχέσεις (Spatial Relations)** αντί της Γρήγορης Περιστροφής που όρισε ο Lohman, για τρισδιάστατα αντικείμενα.
- **Ταχύτητα Ολοκλήρωσης (Closure Speed)** που αφορά στις ατομικές διαφορές στη σύλληψη και στην ταχύτητα εντοπισμού ενός οπτικού μοτίβου, χωρίς να είναι γνωστό εκ των προτέρων ποιο είναι το πρότυπο, καθώς αυτό είναι επισκιασμένο με κάποιον τρόπο ή περιλαμβάνει δυσνόητες προοπτικές. Το υποκείμενο δεν ενημερώνεται για το τι να παρατηρήσει σε μια αναπαράσταση.
- **Ευελιξία Ολοκλήρωσης (Flexibility of Closure)** που περιλαμβάνει την εύρεση και την κατανόηση κρυμμένων μοτίβων σε ένα μεγαλύτερο μοτίβο. Το

υποκείμενο ενημερώνεται για το τι πρέπει να παρατηρήσει, παρουσία ερεθισμάτων που αποσπούν την προσοχή.

- **Αντιληπτική Ταχύτητα (Perceptual Speed)** η οποία χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα της εύρεσης ενός δοσμένου σχηματισμού σε ένα υλικό, παρουσία ερεθισμάτων που του αποσπούν την προσοχή (Yilmaz, 2009; Wu & Shah; 2004).

Ο παραπάνω ορισμός του Carroll για την Χωρική Οπτικοποίηση δε διαφέρει από εκείνο που έδωσαν άλλοι ερευνητές, όπως οι Guildford & Lacy (1947), French (1951), Michael, Guilford, Fruchter & Zimmerman (1957), Ekstrom, French & Harman (1976), και McGee (1979b) (Hegarty & Waller, 2004; Hegarty & Waller, 2005; Ferk, 2003; Mohler, 2008).

Οι Linn & Petersen (1985) στη δική τους βιβλιογραφική ανασκόπηση κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν τρεις βασικές συνιστώσες της χωρικής ικανότητας:

- **Νοητική Περιστροφή** που αφορά στην ικανότητα να φανταστεί κάποιος τη νέα θέση ενός δισδιάστατου ή τρισδιάστατου αντικείμενου, το οποίο έχει περιστραφεί από μια συγκεκριμένη θέση. Να φανταστεί δηλαδή το αποτέλεσμα της περιστροφής του αντικείμενου.
- **Χωρική Αντίληψη** που αφορά στην ικανότητα ορισμού χωρικών σχέσεων μεταξύ δύο αντικειμένων. Ειδικότερα αφορά τον ορισμό χωρικών σχέσεων μεταξύ ενός αντικείμενου και του δοκιμαστικού υποκειμένου
- **Χωρική Οπτικοποίηση** που αφορά στην ικανότητα της επεξεργασίας της πληροφορίας ακολουθιακά και χωρικά, διότι η χωρική οπτικοποίηση περιλαμβάνει πολύπλοκους χειρισμούς πολλών βημάτων όπου σε κάθε βήμα η πληροφορία αναπαρίσταται χωρικά (Sorby 1999).

Ο Maier (1998) επεκτείνοντας την εργασία των Linn & Petersen (1985) αναγνώρισε πέντε κύριες συνιστώσες της χωρικής ικανότητας:

- **Νοητική Περιστροφή**
- **Χωρική Αντίληψη**
- **Χωρικός Προσανατολισμός** που αφορά στην ικανότητα ενός ατόμου να προσανατολίζει τον εαυτό του φυσικά ή νοητικά σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο. Κατ'επέκταση αφορά την ικανότητα ενός παρατηρητή να φαντάζεται πώς θα μοιάζει ένα αντικείμενο κοιτώντας το από διαφορετική προοπτική.

- **Χωρικές Σχέσεις** που αφορούν στην ικανότητα της αναγνώρισης του οριζόντιου και κάθετου προσανατολισμού και της εξαγωγής σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων ή μερών αυτών
- **Χωρική Οπτικοποίηση** που αφορά στην ικανότητα απεικόνισης μιας εικόνας στην οποία εμφανίζονται εσωτερικές μεταβολές

Η ιδέα των πολλαπλών μορφών ευφυΐας που αναπτύχθηκε από τον Gardner (2006), που περιλαμβάνει τη χωρική ευφυΐα, η οποία ορίστηκε ως η ικανότητα του προσανατολισμού και της διαχείρισης αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο . Σύμφωνα με την Hegarty (2010) η χωρική ευφυΐα ή νοημοσύνη (Spatial Intelligence) μπορεί να οριστεί και ως προσαρμόσιμη χωρική σκέψη. Ακόμα ο όρος ευφυΐα φέρνει στο μυαλό μας την ιδέα των ιδιαίτερων διαφορών στη χωρική ικανότητα. Αυτή η βασική ιδέα αποτελεί σημαντική παράμετρο για τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό για πολλούς λόγους, ο σημαντικότερος από τους οποίους είναι η υπενθύμιση ότι δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται τα ζητήματα της χωρικής ικανότητας μεμονωμένα (Spatial Ability Literature Overview; Hegarty, 2010).

#### **2.4 Η σπουδαιότητα της Οπτικοχωρικής Ικανότητας στην Εκπαίδευση στις Θετικές ή Φυσικές Επιστήμες (Science Education)**

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές έρευνες που τονίζουν τη σπουδαιότητα της χωρικής ικανότητας. Επιστήμονες από τα πεδία της τέχνης και της εκπαίδευσης μέχρι της επιστήμης και της μηχανικής (STEM) έχουν εστιάσει τις έρευνές τους στη χωρική ικανότητα.

Επιπλέον η έρευνα εστιάζεται και στην προβλεπτική δυνατότητα της χωρικής ικανότητας όσον αφορά την επαγγελματική επιτυχία. Υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες δείχνουν τη χρήση των χωρικών τεστ προκειμένου να προβλεφθούν οι επαγγελματικές επιδόσεις. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι χωρίς τη χωρική ικανότητα η επιτυχία σε συγκεκριμένους επιστημονικούς κλάδους και επαγγέλματα, όπου στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Σε αυτή την κατηγορία επιστημονικών κλάδων και επαγγελμάτων ανήκουν η Αρχιτεκτονική, η Αστρονομία, η Βιοχημεία, η Χημεία, η Βιολογία, η Μηχανική, η Γεωλογία, τα Μαθηματικά, η Φυσική, η Επιστήμη των Υπολογιστών, η Χαρτογραφία, η Χαρτογραφία και η Μουσική.

Ο Smith (1964) πραγματοποίησε έρευνα στον τομέα της χωρικής οπτικοποίησης και συμπέρανε ότι υπάρχουν 84 διαφορετικά είδη καριέρας όπου οι χωρικές ικανότητες παίζουν σημαντικό ρόλο. Η Maier (1994) συμπέρανε ότι για τα τεχνικά επαγγέλματα, όπως είναι οι μηχανικοί, η χωρική οπτικοποίηση και η ικανότητα της νοητικής περιστροφής είναι εξαιρετικά σημαντικές. Ο Norman (1994) με έρευνα που διεξήγαγε συμπέρανε ότι το επίπεδο χωρικής ικανότητας ενός ατόμου, ήταν ο πιο βασικός παράγοντας πρόβλεψης της επιτυχίας του. Ο McKim (1980) επισημαίνει ότι η ικανότητα της οπτικής σκέψης είναι βασική, όχι μόνο για τους καλλιτέχνες, αλλά και για αυτούς που ακολουθούν επιστημονική και τεχνική καριέρα. Στην έρευνά του αναφέρθηκε σε πολλά παραδείγματα από την ιστορία των τεχνολογικών ανακαλύψεων, που είχαν επίδραση σε όλη την κοινωνία και βασίστηκαν στις οπτικοποιήσεις. Για παράδειγμα η ανακάλυψη της πενικιλίνης από τον Fleming, η ανακάλυψη της ελικοειδούς δομής από τον Watson, η ανακάλυψη της δομής του δαχτυλιδιού του βενζένιου από τον Kekule και η ανάπτυξη συσκευών του φθορίζοντος φωτός και η A-C γεννήτρια από τον Tesla. Ακόμα επισήμανε ότι η σκέψη του Einstein ήταν μέσω οπτικοποιήσεων για αυτό και ήταν δύσκολο για τον ίδιο να χρησιμοποιήσει λέξεις για τις σκέψεις του (Sorby, 1999).

Πολλές από αυτές τις μελέτες οι επιστήμονες αναγνωρίζουν την κρισιμότητα της χωρικής ικανότητας για την γενική ακαδημαϊκή επιτυχία. Για παράδειγμα ο Ursyn (1997) τονίζει ότι η μάθηση, η επίλυση προβλημάτων και η απομνημόνευση απαιτούν την ικανότητα της οπτικοποίησης επιστημονικών ιδεών. Άλλοι ερευνητές εξηγούν ότι η χωρική ικανότητα είναι πολύ σημαντική στη μελέτη των μαθηματικών, των θετικών επιστημών, των επιστημών υγείας, της τέχνης και της μηχανικής. Διότι τα αποτελέσματα των ερευνών έχουν δείξει ότι οι εκπαιδευόμενοι με χαμηλή χωρική ικανότητα εμφανίζουν δυσκολίες όχι μόνο στην κατανόηση των εργαστηριακών δραστηριοτήτων, αλλά και στην μετάφραση και κατανόηση των γράφων, των γραφημάτων και των πινάκων, με αποτέλεσμα να αποθαρρύνονται και να εγκαταλείπουν τα μαθήματα που σχετίζονται με αυτήν την ικανότητα ή να επιτυγχάνουν τις χαμηλότερες βαθμολογίες.

Επιπλέον οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να καταλάβουν την σημαντική αξία της χωρικής ικανότητας για την επιτυχή αντίληψη και πρακτική εφαρμογή της γνώσης σε επιστήμες που τα παραπάνω αποτελούν βασική προϋπόθεση (Spatial Abilities Literature overview; Sorby, 1999; Lord, 1990).

## 2.5 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Μάθηση της Χημείας

Η Χημεία είναι μια οπτική επιστήμη. Η οπτικοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στην καθημερινή πρακτική αυτής της επιστήμης. Η εξήγηση των φαινομένων, βασίζεται στην κίνηση των μορίων, των ατόμων, των υποατομικών σωματιδίων και των σχέσεων μεταξύ αυτών. Οι χημικοί ανέπτυξαν μια ποικιλία από αναπαραστάσεις, όπως είναι τα μοριακά μοντέλα, οι χημικές δομές, οι τύποι, οι εξισώσεις και τα σύμβολα. Και αυτές οι «κύριες εικόνες» έχουν γίνει η βάση για την επέκταση της γνώσης ανάμεσα στην επιστημονική κοινωνία των χημικών.

Η οπτικοποίηση επίσης χρησιμοποιείται για να επικοινωνούν οι εκπαιδευόμενοι της Χημείας. Τα προγράμματα σπουδών και τα βιβλία τους περιλαμβάνουν πληθώρα οπτικών αναπαραστάσεων οι οποίες παρουσιάζουν θεμελιώδεις χημικές έννοιες. Οι χημικοί και οι εκπαιδευτικοί ερευνητές έχουν ήδη αναγνωρίσει την σπουδαιότητα της οπτικοποίησης στη μάθηση της Χημείας. Οι χημικές αναπαραστάσεις είναι αφηρημένες και αναπαριστούν πληροφορία με καθόλου αυθαίρετο τρόπο, διότι ακολουθούν κανόνες και περιορισμούς που καθορίζονται από τη χημική θεωρία. (Wu, 2004).

Η διδασκαλία και η μάθηση στη Χημεία (μεταξύ των εκπαιδευομένων και των διδασκόντων) επιτυγχάνεται με τη διαμεσολάβηση των αναπαραστάσεων των μορίων, των αντιδράσεων και των θεωριών στα οποία η χωρικές ικανότητες παίζουν σημαντικό ρόλο. Παραδείγματα προπτυχιακών μαθημάτων του Τμήματος Χημείας τα οποία σχετίζονται με την χωρική ικανότητα είναι:

- Η **Γενική Χημεία** όπου μελετώνται θέματα πχ μοριακής γεωμετρίας και των κρυσταλλικών δομών
- Η **Οργανική Χημεία** όπου μελετώνται θέματα στερεοχημείας, μηχανισμοί  $S_N2$  αντιδράσεων, και εξετάζονται οι διαφορετικές αναπαραστάσεις των μορίων όπως οι Newman, Fisher, Haworth προβολές, boat and chair conformers, skeleton diagrams, κ.α.
- **Θεωρία Ομάδων** (ανόργανη και φυσικοχημεία) όπου μελετώνται θέματα συμμετρίας, n-τάξης άξονες περιστροφής, επίπεδα κατοπτρισμού, κέντρα αναστροφής (inversion), άξονες στροφοκατοπτρισμού n-τάξης και οι αντίστοιχες σε αυτά διεργασίες συμμετρίας
- **Βιοχημεία** όπου μελετώνται θέματα όπως η δομή των βιομορίων και των ενζύμων (Harle, 2010).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι έρευνες που αφορούν την σχέση των χωρικών ικανοτήτων και της μάθησης της Χημείας. Η χωρική ικανότητα θεωρείται ως ένας από τους γνωστικούς παράγοντες ο οποίος σχετίζεται με την μάθηση/κατανόηση των εννοιών στη Χημεία (Wu, 2004). Οι Baker & Talley (1972, 1974) εισηγήθηκαν ότι οι δεξιότητες οπτικοποίησης ενισχύουν την ικανότητα των εκπαιδευομένων να επιλύουν προβλήματα Χημείας. Για τους σκοπούς της έρευνάς τους καταρχάς εφάρμοσαν τεστ επίδοσης σε φοιτητές στο μάθημα της Ανόργανης Χημείας, στο οποίο υπήρχαν ερωτήσεις κατανόησης, ανάλυσης, σύνθεσης, και υπολογισμού. Κατόπιν στους ίδιους φοιτητές, εφαρμόστηκαν δύο τεστ οπτικοχωρικής ικανότητας. Οι επιδόσεις όλων των τεστ συσχετίστηκαν μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αναφορικά με την επίλυση των προβλημάτων στη Χημεία, οι οπτικοχωρικές δεξιότητες διευκολύνουν την επίλυσή τους (Baker & Talley, 1974)

Ο Ferk και οι συνάδελφοί του (2003) σε έρευνα που διεξήγαγαν έθεσαν ως ερευνητικό ερώτημα, μεταξύ των άλλων ερωτημάτων, κατά πόσο η οπτικοχωρική ικανότητα και οι χωρικές δεξιότητες των ατόμων παίζουν σημαντικό ρόλο, στην αντίληψη της πληροφορίας που αφορούν 3D μοριακές δομές, από διαφορετικών ειδών αναπαραστάσεις μοριακών δομών. Για τον σκοπό αυτό ανέπτυξαν ένα τεστ το οποίο περιελάμβανε διεργασίες, με τις οποίες γινόταν η εκτίμηση της σωστής αντίληψης των διαφορετικών αναπαραστάσεων των μοριακών δομών από τους συμμετέχοντες, καθώς και η ικανότητα τους να διαχειρίζονται αυτά τα νοητικά μοντέλα στις τρεις διαστάσεις. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, κάποιες αναπαραστάσεις των μοριακών τρισδιάστατων δομών, είναι πιο εύκολα κατανοητές και μπορούν πιο εύκολα να χρησιμοποιηθούν από τους εκπαιδευόμενους στην επίλυση προβλημάτων διαφορετικής δυσκολίας και πολυπλοκότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ακόμα ότι η σωστή αντίληψη των τρισδιάστατων μοριακών δομών είναι σημαντική για όλες τις επί πλέον νοητικές λειτουργίες. Οι Herron & Greenbowe (1986) έδωσαν έμφαση στην σπουδαιότητα της οπτικοχωρικής ικανότητας, διότι βοηθάει τους εκπαιδευόμενους χημικούς να δημιουργούν συνδέσεις μεταξύ του μακροσκοπικού, μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου (Ferk, 2003).

Πολλές διεργασίες επίλυσης προβλημάτων στην Χημεία περιλαμβάνουν τις δεξιότητες οπτικοποίησης, όπως τη χωρική οπτικοποίηση, το χωρικό προσανατολισμό, την περιστροφή, τον κατοπτρισμό, την αναστροφή, τον νοητικό χειρισμό μοριακών αναπαραστάσεων. Όταν οι εκπαιδευόμενοι επιλύουν ένα πρόβλημα στην Χημεία πιθανόν να οπτικοποιούν ή να μεταφράζουν αναπαραστάσεις σε μια άλλη μορφή, που

τους επιτρέπει να εξάγουν συμπεράσματα με πιο αποδοτικό τρόπο. Επομένως η ανάπτυξη μιας οπτικής αναπαράστασης, η κατανόηση μιας οπτικής αναπαράστασης και ο μετασχηματισμός αναπαραστάσεων, τα οποία πιθανόν να απαιτούν δεξιότητες οπτικοχωρικής αντίληψης, αποτελούν ένα βασικό συστατικό για την επίλυση προβλημάτων (Tuckey & Salvaratnam, 1993).

Οι Pribyl & Bodner (1987) εξέτασαν τη σχέση μεταξύ των οπτικοχωρικών ικανοτήτων των εκπαιδευόμενων στη Χημεία και τις δεξιότητές τους στην επίλυση προβλημάτων Χημείας. Σε έρευνα που πραγματοποίησαν προκειμένου να διερευνήσουν το ερώτημα σε ποιο βαθμό η χωρική ικανότητα επηρεάζει την επίδοση σε μαθήματα Χημείας, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι εκπαιδευόμενοι με υψηλή χωρική ικανότητα είχαν την τάση κατά την επίλυση των προβλημάτων Χημείας, να σχεδιάζουν αναπαραστάσεις, ακόμα και αν το πρόβλημα δεν σχετιζόταν άμεσα με μοριακές δομές. Αντίθετα οι εκπαιδευόμενοι με χαμηλή οπτικοχωρική ικανότητα, σχεδίαζαν λιγότερες αναπαραστάσεις και είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να κάνουν λάθος κατά το σχεδιασμό μοριακών αναπαραστάσεων, χρησιμοποιώντας μη συμμετρικές ή μη κατάλληλες δομές.

Οι χημικές αναπαραστάσεις που σχεδίαζαν οι εκπαιδευόμενοι με υψηλή χωρική ικανότητα φαίνεται ότι τους βοηθούσαν να επιλύσουν με επιτυχία το πρόβλημα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούσαν να οργανώσουν και να αναπαραστήσουν την εννοιολογική πληροφορία που παρεχόταν από το πρόβλημα. Η χρήση των μοριακών αναπαραστάσεων, επέτρεψε στους εκπαιδευόμενους να εξάγουν σαφή συμπεράσματα και να κάνουν αναζήτηση πληροφοριών με ευκολία. Αυτή η αναπαραστατική διαδικασία σε χωρικό επίπεδο αποτελείται από την σύνθεση πολλών βημάτων. Συμπερασματικά, ακόμα και όταν τα προβλήματα Χημείας δεν σχετίζονται άμεσα με τη μοριακή δομή, οι εκπαιδευόμενοι χρησιμοποιούν τις χωρικές ικανότητές τους για να κατανοήσουν και να επιλύσουν τα προβλήματα Χημείας (Wu, 2004).

Στην εκπαιδευτική διαδικασία, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή σε καθεμία από τις διεργασίες της χωρικής ικανότητας, αλλά και στους συνδυασμούς τους. Οι στοιχειώδεις τρισδιάστατες λειτουργίες (αντίληψη, περιστροφή, κατοπτρισμός) θα πρέπει να μελετώνται μία κάθε φορά και να συνδυαστούν μόνο όταν οι εκπαιδευόμενοι αποδείξουν ότι κατανοούν κάθε μια από αυτές ξεχωριστά. (Ferk, 2003).

## 2.6 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Ηλικία

Οι Piaget και Inhelder (1971) αναφέρουν ότι οι χωρικές δεξιότητες αναπτύσσονται σε τρία στάδια, κατά την ανάπτυξη του παιδιού. Στο πρώτο στάδιο τοπολογικές δεξιότητες (topological skills) αναπτύσσονται. Οι τοπολογικές δεξιότητες (topological skills) αρχικά αναφέρονται σε νοητικούς χειρισμούς στις δύο διαστάσεις του χώρου και εμφανίζονται στα περισσότερα παιδιά στην ηλικία των 3-5 ετών. Με αυτές τις δεξιότητες τα παιδιά μπορούν να αναγνωρίσουν την εγγύτητα ενός αντικειμένου σε ένα άλλο, την θέση του σε μια ομάδα αντικειμένων και το αν είναι έξω ή μέσα σε ένα μεγαλύτερο περιβάλλον. Τα παιδιά που μπορούν να τοποθετήσουν τα κομμάτια ενός παζλ στην σωστή θέση εμφανίζουν αυτή την δεξιότητα.

Στο δεύτερο στάδιο της ανάπτυξης τα παιδιά εμφανίζουν «προβολική χωρική» ικανότητα (projective spatial ability). Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την οπτικοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων και την αντίληψη του πώς θα φαίνονται αυτά τα αντικείμενα από διαφορετικές προοπτικές ή το πώς θα φαίνονται μετά από περιστροφή ή γενικά κάποιο μετασχηματισμό στο χώρο. Τα περισσότερα παιδιά τυπικά εμφανίζουν αυτή την δεξιότητα στην εφηβεία για αντικείμενα τα οποία είναι οικεία από την καθημερινή τους εμπειρία. Αν το αντικείμενο δεν είναι οικείο ή αν έχει ένα καινούργιο χαρακτηριστικό, όπως για παράδειγμα η κίνηση, τότε πολλοί εκπαιδευόμενοι εμφανίζουν δυσκολία στην οπτικοποίηση σε αυτό το στάδιο.

Στο τρίτο στάδιο της ανάπτυξης οι άνθρωποι έχουν την ικανότητα να οπτικοποιούν τις έννοιες, να μεταφράζουν (translate), να περιστρέφουν και να κατοπτρίζουν. Σε αυτό το επίπεδο το άτομο είναι σε θέση να συνδυάσει μετρήσιμες έννοιες με τις προβολικές δεξιότητες (projective skills) του.

Από την άλλη μεριά οι Huttenlocker & Newcombe (2000) υποστηρίζουν ότι η χωρική κατανόηση αναπτύσσεται νωρίτερα από ότι προτείνει ο Piaget στη μελέτη του, από την ηλικία των έξι μηνών (Piaget & Inhelder, 1971; Yilmaz, 2009).

Μερικές μελέτες έχουν επικεντρωθεί σε διαφορές στην χωρική ικανότητα σε διάφορα επίπεδα ηλικίας (Salthouse, 1987; Fennema & Tartre, 1985). Άλλες εστιάζουν στις ηλικίες στις οποίες οι διαφορές στην χωρική ικανότητα φαίνεται πιο εμφανής (Piaget & Inhelder, 1967, 1971). Άλλοι επικεντρώνονται στο πώς η χωρική ικανότητα μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου (Coleman & Gotch, 1998; Salthouse et al. 1990).

Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα έχει αποδείξει ότι η ηλικία επηρεάζει τη χωρική ικανότητα. Η χωρική ικανότητα βελτιώνεται στην παιδική ηλικία (Flanery & Balling,



1979), αλλά μειώνεται στην ενήλικη ζωή (Shute et al. 1983). Οι διαφορές που σχετίζονται με την ηλικία είναι συνήθως αποτέλεσμα των διαφορών στην ταχύτητα επεξεργασίας, της γνώσης και της εμπειρίας και στην ταχύτητα επίλυσης προβλημάτων. Η χωρική αντίληψη δεν εμφανίζεται μέχρι περίπου την ηλικία των εννέα ετών. Επιπλέον, η εκπαίδευση μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα χωρικής αντίληψης από την ηλικία αυτή (Kang et al. 2011; Halpern, 1986; Salthouse & Mitchell, 1990).

## **2.7 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Φύλο**

Οι μελέτες που εξετάζουν την ύπαρξη διαφοράς της χωρικής ικανότητας μεταξύ των δύο φύλων, καταλήγουν ότι η χωρική ικανότητα και ιδιαίτερα η οπτικοχωρική ικανότητα των αντρών υπερτερεί σε σχέση με των γυναικών. Οι άντρες φαίνεται ότι μπορούν με μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και πιο γρήγορα να εφαρμόζουν νοητικές διεργασίες.

Οι επιδόσεις των γυναικών πιθανόν να επηρεάζονται από τα στερεότυπα που επικρατούν μεταξύ των δύο φύλων και αφορούν στην εκτέλεση νοητικών διεργασιών. Οι γυναίκες γνωρίζουν καλά τα στερεότυπα που θέτουν σε αμφισβήτηση την ικανότητά τους να ανταπεξέλθουν σε χειρισμούς που σχετίζονται με τις χωρικές σχέσεις. Η αυτοεκτίμηση σχετικά με την χωρική ικανότητα μπορεί διαμορφωθεί από αυτά τα στερεότυπα.

Για παράδειγμα η χρήση του όρου «χωρικός» αντί του «γνωστικός» μπορεί να μειώσει την επίδοση των γυναικών, διότι δε θεωρούν τον εαυτό τους ιδιαίτερα ικανό να ανταπεξέλθει σε χωρικές διεργασίες. Αντίθετα γενικά θεωρούν ότι είναι καλύτερες στις γνωστικές διεργασίες. Ακόμα όμως και αν οι γυναίκες δεν ανησυχούν για τις ικανότητές τους, μπορούν να καταλάβουν ότι οι άλλοι τις θεωρούν λιγότερο ικανές, οπότε αυτή η ανησυχία μπορεί να επηρεάσει την απόδοσή τους.

Ένας άλλος παράγοντας που σχετίζεται με την απόδοσή τους στο να εφαρμόσουν νοητικά χωρικές διεργασίες είναι η πίεση όταν υπάρχουν ρητοί χρονικοί περιορισμοί. Η πίεση χρόνου έχει αρνητικές επιπτώσεις στις γυναίκες, κατά την εφαρμογή νοητικών διεργασιών, διότι δε μπορούν να επικεντρωθούν με ακρίβεια στο έργο τους.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές θεωρίες σχετικά με το ποια μπορεί να είναι τα αίτια αυτής της διαφοροποίησης της χωρικής ικανότητας μεταξύ των δύο φύλων. Μια πιθανή εξήγηση είναι η συμμετοχή σε δραστηριότητες που απαιτούν χωρική ικανότητα από την παιδική ηλικία, αλλά οι επιλογές των δραστηριοτήτων διαμορφώνονται από τους

ενήλικες (για παράδειγμα δασκάλους ή γονείς), οι οποίοι συχνά θεωρούν τα κορίτσια λιγότερο ικανά από τα αγόρια, στο να χρησιμοποιήσουν τις χωρικές ικανότητες τους, ακόμα και κατά την διάρκεια του παιχνιδιού. Για παράδειγμα τα αγόρια θεωρούνται ικανά να κατασκευάσουν μοντέλα και να παίζουν με τουβλάκια, σε αντίθεση με τα κορίτσια που θεωρείται ότι ενδιαφέρονται για τις κούκλες. Ακόμα και η σιωπηρή αποθάρρυνση μπορεί να οδηγήσει τα κορίτσια στο να αμφιβάλλουν για τις χωρικές δεξιότητές τους και αυτό με τη σειρά του μπορεί να μειώσει το κίνητρο για να προσπαθήσουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι γυναίκες να αποφεύγουν επιστήμες, οι οποίες σχετίζονται με θέματα που αφορούν χωρικές διεργασίες και ιδιαίτερα νοητικές περιστροφές, όπως είναι η Χημεία. Αντίθετα τα αγόρια και οι έφηβοι οι οποίοι χρησιμοποιούν χωρικές δεξιότητες στις καθημερινές τους ενασχολήσεις/δραστηριότητες, ασχολούνται συνήθως με επιστήμες που σχετίζονται με τέτοιες δεξιότητες και ακολουθούν και σχετικές σταδιοδρομίες.

Μια άλλη πιθανή αιτία της διαφοροποίησης, είναι το ότι οι άνθρωποι με αυξημένες χωρικές ικανότητες συνήθως χρησιμοποιούν την ολιστική προσέγγιση, δηλαδή αναγνωρίζουν επιμέρους στοιχεία τα οποία τα συνδέουν μεταξύ τους σε μεγαλύτερα σύνολα προκειμένου να κατανοήσουν το «όλον», σύμφωνα με την Gestalt αντίληψη (Palmer,1990). Οι γυναίκες για την επίλυση των προβλημάτων στις επιστήμες, συνήθως προτιμούν την αλγοριθμική προσέγγιση, η οποία είναι αναλυτική. Δηλαδή την προσέγγιση ενός προβλήματος που δίνει έμφαση στον τρόπο επίλυσής του, ανεξάρτητα από το χώρο από τον οποίο προέρχεται το πρόβλημα. Ο αλγόριθμος είναι ένα σύνολο από λειτουργίες, οι οποίες περιγράφουν βήμα προς βήμα τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν για να ολοκληρωθεί μια εργασία ή να επιλυθεί ένα πρόβλημα σε πεπερασμένο αριθμό ενεργειών. Οι ενέργειες αυτές εκτελούνται ακολουθιακά. Αυτή η διαφορά τους στον τρόπο προσέγγισης των προβλημάτων, πιθανόν να οδηγήσει σε διαφορές μεταξύ των δύο φύλων και στις επιδόσεις τους στη Χημεία (Aho et al. 1983).

Ιδιαίτερα στη Χημεία έρευνες έχουν αποδείξει, ότι η εκπαίδευση σε αυτή την επιστήμη άλλες φορές παίζει ρόλο και άλλες όχι σε ό,τι αφορά τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο φύλων. Άλλοι ερευνητές έχουν αποδείξει ότι άντρες και γυναίκες που έχουν παρακολουθήσει αρκετά μαθήματα Χημείας αποδίδουν το ίδιο σε χωρικές ικανότητες και νοητικές περιστροφές, όταν άλλοι ισχυρίζονται πως η υπεροχή των ανδρών σε αυτές τις ικανότητες υπάρχει ανεξάρτητα από την εκπαίδευσή τους (Brownlow, 2003).

Η κοινωνικοοικονομική κατάσταση υποστηρίζουν οι ερευνητές ότι είναι μια άλλη αιτία που εμφανίζεται διαφορά στην οπτικοχωρική ικανότητα ανάμεσα στα δύο φύλα. Ο Levine και οι συνεργάτες του (2005) σε έρευνα που διεξήγαγαν απέδειξαν ότι σε μεσαία και υψηλά κοινωνικοοικονομικά στρώματα υπήρχαν διαφορές στα επίπεδα της χωρικής ικανότητας των αγοριών και των κοριτσιών. Μια πιθανή εξήγηση θα μπορούσε να ήταν το γεγονός ότι στα μεσαία και τα υψηλά κοινωνικοοικονομικά στρώματα τα αγόρια περνούν περισσότερο χρόνο με το να ασχολούνται με παιχνίδια όπως τα παζλ, τα Lego, τα video games, τα οποία μάλλον σχετίζονται με τις χωρικές ικανότητες, από ό,τι τα κορίτσια. Ακόμα και το ότι τα αγόρια είναι πιο ελεύθερα να εξερευνήσουν τον χώρο γύρω τους, πχ την γειτονιά τους, από ότι τα κορίτσια ίσως να είναι μια ακόμα αιτία αυτής της διαφοράς. Αντίθετα στα χαμηλά κοινωνικοοικονομικά στρώματα δεν υπήρχαν διαφορές στις χωρικές ικανότητες των αγοριών και των κοριτσιών, διότι πιθανόν έχουν πολύ λίγες και ίσες δυνατότητες να ασχοληθούν με τα παιχνίδια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ακόμα λόγω της επικινδυνότητας του χώρου στον οποίο κατοικούν και κινούνται να μην τους δίνεται η δυνατότητα της εξερεύνησης του χώρου (Levine et al. 2005).

Ο Kaufman (2007) ερευνήσε το αν σχετίζεται η μνήμη εργασίας με τις διαφορές στην επίδοση των ανδρών και των γυναικών όσο αφορά στην ικανότητά τους να εφαρμόσουν νοητικές διεργασίες στον τρισδιάστατο (3D) χώρο. Για τις ανάγκες της έρευνάς του χρησιμοποίησε τεστ 3D νοητικών περιστροφών (Mental Rotation Test, MRT) και τεστ οπτικοποίησης (Differential Aptitude Test, DAT-SR). Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η δυναμική και ο αριθμός των στοιχείων που μπορεί να επεξεργαστεί η μνήμη εργασίας είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τις διαφορές στην επίδοση των ανδρών και των γυναικών στα τεστ της έρευνας (Spatial Abilities Literature Overview)

Οι βιολογικοί παράγοντες ή οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αποτελούν τις πρωταρχικές αιτίες για τις διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών στα επίπεδα χωρικών ικανοτήτων (Sorby, 1999) Αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι η χωρική ικανότητα είναι κληρονομική και πολλές δείχνουν ότι είναι πιο «κληρονομήσιμη» από ότι η λεκτική ικανότητα. Ωστόσο αρκετές βιολογικές εξηγήσεις για τις διαφοροποιήσεις των φύλων περιλαμβάνουν την κυριαρχία των ορμονικών επιδράσεων, την θεωρία του X υπολειπόμενου χρωμοσώματος, σύμφωνα με την οποία η χωρική ικανότητα μεταφέρεται στο X χρωμόσωμα ως υπολειπόμενο χαρακτηριστικό, όπως και την εξελικτική θεωρία που σχετίζεται με τους ρόλους των

ανδρών και των γυναικών. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι η χωρική ικανότητα υπάρχει εξαιτίας των εμπειριών άρα ο παράγοντας περιβάλλον παίζει σημαντικό ρόλο στην διαφοροποίηση των δύο φύλων.

Ακόμα οι εκπαιδευτικοί παράγοντες επιδρούν στην ανάπτυξη της χωρικής ικανότητας, όπως είναι η εκμάθηση στρατηγικών για την επίλυση προβλημάτων και η ανάπτυξη δεξιοτήτων σχετικών με την χωρική ικανότητα, το μαθηματικό υπόβαθρο, καθώς και το μουσικό υπόβαθρο. Επομένως οι εκπαιδευτικοί παράγοντες είναι μία από τις αιτίες που εμφανίζονται διαφορές στην χωρική ικανότητα, μεταξύ των δύο φύλων. Είναι φανερό πλέον ο κάθε παράγοντας από μόνος του αλλά και ο συνδυασμός τους οδηγούν σε διαφορές. Ο Vandenberg χαρακτηριστικά αναφέρει ότι «Είναι καιρός οι ψυχολόγοι να προχωρήσουν στην πλήρη αναγνώριση του γεγονότος ότι οι δύο αυτοί παράγοντες (βιολογικοί και περιβαλλοντικοί), είναι εξαιρετικά αλληλοεξαρτώμενοι» (Mohler, 2008).

## **2.8 Οπτικοχωρική Ικανότητα και Ημισφαιρικές Διαφορές στον Εγκέφαλο**

Οι ημισφαιρικές διαφορές στον εγκέφαλο είναι μια άλλη παράμετρος που εξετάζουν οι νευροεπιστήμονες. Η εξέλιξη των νευροεπιστημών και των νευροαπεικονιστικών μεθόδων υποβοήθησαν τις μελέτες που έγιναν πάνω στο θέμα των ημισφαιρικών διαφορών, προκειμένου να κατανοήσουν την φυσιολογία του εγκεφάλου και την σχέση του με την χωρική ικανότητα. Από τις έρευνες διαπιστώθηκε σημαντική μεταβλητότητα στην ενεργοποίηση εγκεφαλικών πηγών κατά την διάρκεια της νοητικής περιστροφής. Ενεργοποιήσεις αναφέρθηκαν στην βρεγματική, οπτική, προκινητική, μετωπική, και σωματοκινητική περιοχή και στα βασικά γάγγλια κατά την διάρκεια νοητικών περιστροφών. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι, η νοητική περιστροφή δεσμεύει περιοχές του φλοιού που εμπλέκονται όχι μόνο σε άμεση αντίληψη, αλλά και περιοχές του εγκεφάλου που εμπλέκονται στην παρακολούθηση αντικείμενων σε κίνηση και κωδικοποιούν χωρικές σχέσεις. Με άλλα λόγια όταν τα υποκείμενα των ερευνών εφάρμοζαν νοητική διεργασία σε ακίνητα ερεθίσματα, δέσμευαν περιοχές του εγκεφάλου οι οποίες συνήθως σχετίζονται με κινούμενα αντικείμενα. Οι Kosslyn, Digirolamo, Thompson, & Alpert (1998), μετά από παρακολούθηση της εγκεφαλικής ροής του αίματος των υποκειμένων τους με την χρήση τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων, υποστηρίζουν ότι μάλλον υπάρχουν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται στον τομέα της νοητικής

περιστροφής. Ο ένας που αφορά στην προετοιμασία κινήσεων και ο άλλος που δεν την αφορά (Parsons, 2004).

Στη βιβλιογραφία οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι όταν κυριαρχεί το δεξί ημισφαίριο του εγκεφάλου τότε οι επιδόσεις είναι πιο ανεπτυγμένες σε ό,τι αφορά τις χωρικές ικανότητες (McGrove & Davinson, 1973; McGee, 1976; McGrove, 1980). Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι χωρισμένος σε δύο ημισφαίρια, το αριστερό ημισφαίριο το οποίο υποστηρίζει τις γλωσσικές και λεκτικές δεξιότητες και το δεξί ημισφαίριο το οποίο υποστηρίζει οπτικοχωρικές δεξιότητες. Είναι γνωστό εδώ και δεκαετίες ό,τι το δεξί ημισφαίριο στους άντρες αναπτύσσεται νωρίτερα και είναι μεγαλύτερο από ότι στις γυναίκες. Οι ερευνητές υποθέτουν ό,τι αυτός είναι ο λόγος που οι άντρες πλεονεκτούν στις χωρικές δεξιότητες από τις γυναίκες. Οι Pakkenberg & Gundersen (1997) υποστηρίζουν ότι οι άντρες έχουν 16% περισσότερους νευρώνες του νεοφλοιού από ότι οι γυναίκες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότερες συνάψεις κάτι που συμβάλλει σε γνωστικές διαφορές (Yilmaz, 2009; Voger, 2003). Η Jacobs (1992) βρήκε ότι ο ιππόκαμπος, μια εγκεφαλική περιοχή η οποία πιστεύεται ότι συνδέεται με τη χωρική μάθηση, είναι μεγαλύτερος στα αρσενικά ποντίκια από ότι στα θηλυκεία. Κάτι τέτοιο όμως σε ανθρώπινα υποκείμενα δεν έχει διαπιστωθεί (Kimura, 1992).

Οι άντρες γενικά τα πηγαίνουν καλύτερα από τις γυναίκες σε ό,τι αφορά τις οπτικοχωρικές διαδικασίες, ιδιαίτερα αυτές που απαιτούν νοητικές περιστροφές τρισδιάστατων εικόνων. Οι διεργασίες της περιστροφής αποτελούν μια σύνθετη γνωστική διεργασία, η οποία υποστηρίζεται από αρκετές κατανεμημένες νευροφυσιολογικές λειτουργίες, όπως είναι η αντίληψη του σχήματος, η χωρική λογική και η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων. Γενικά στις νοητικές διεργασίες, ιδιαίτερα στις διεργασίες περιστροφής, στη χωρική αντίληψη, στη μαθηματική λογική (διεργασίες όπως ο υπολογισμός αριθμητικών δεδομένων ενεργοποιούν τις ίδιες πηγές με τις χωρικές διεργασίες), οι άντρες υπερτερούν έναντι των γυναικών, λόγω της υπεροχής του δεξιού ημισφαιρίου του εγκεφάλου (Yilmaz, 2009; Rilea, 2004; Wu, 2004). Αντίθετα στην λεκτική ευφράδεια, στην ταχύτητα αντίληψης, στην μνήμη και σε ιδιαίτερες κινητικές δεξιότητες οι γυναίκες υπερτερούν των ανδρών, λόγω της υπεροχής του αριστερού ημισφαιρίου του εγκεφάλου (Yilmaz, 2009; Rilea, 2004).

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι λόγοι αυτών των ημισφαιρικών διαφορών, οφείλονται κατά αρχάς σε βιολογικούς παράγοντες. Ευρήματα για το αν οι ορμόνες επηρεάζουν τη χωρική ικανότητα των δύο φύλων στους ανθρώπους, προκύπτουν από μελέτες που

έγιναν σε κορίτσια τα οποία ελέγχθηκαν κατά τον προγεννητικό ή νεογνικό στάδιο, για περίσσεια ανδρογόνων. Η παραγωγή ασυνήθιστα μεγάλων ποσοτήτων ανδρογόνων των επινεφριδίων, συνήθως παρουσιάζεται εξαιτίας μιας γενετικής ανωμαλίας η οποία ονομάζεται συγγενής υπερπλασία των επινεφριδίων (CAH). Μολονότι η επακόλουθη αρρενοποίηση των γεννητικών οργάνων μπορεί να διορθωθεί με χειρουργική επέμβαση και φαρμακευτική αγωγή, η οποία θα σταματήσει την υπερπαραγωγή ανδρογόνων, παρόλα αυτά οι επιδράσεις των ανδρογόνων στον εγκέφαλο δεν αντιστρέφονται.

Έτσι μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι επιδράσεις των ανδρογενών ορμονών (τεστοστερόνη) θα εμφανιστούν αργότερα στην ζωή αλλάζοντας συμπεριφορές συμπεριλαμβανομένης και της χωρικής ικανότητας. Ερευνητές διαπίστωσαν μετά από έρευνες ότι, οι γυναίκες με συγγενή υπερπλασία των επινεφριδίων, εμφανίζουν χωρική ικανότητα σε καλά επίπεδα, όπως οι άντρες. Το αντίθετο ισχύει για τους άντρες οι οποίοι έχουν την ίδια ασθένεια, δηλαδή δεν εμφανίζουν υψηλή χωρική ικανότητα, λόγω των υψηλών επιπέδων τεστοστερόνης. Αντίθετα σε μελέτες που έγιναν οι γυναίκες απέδωσαν καλύτερα σε χωρικές διεργασίες, στην χαμηλών οιστρογόνων φάση του κύκλου τους σε σχέση με την υψηλών οιστρογόνων φάση. Ενώ οι επιδόσεις τους στην ευφράδεια και στις χειρονακτικές δεξιότητες ήταν καλύτερες στην υψηλών οιστρογόνων φάση (Kimura, 1992; Kimura, 1996).

Οι Leng & Shaw's (1991) ανακάλυψαν ότι παρόμοια νευρικά δείγματα εμφανίζονται στο άκουσμα της μουσικής και στην εκτέλεση χωρικών διεργασιών. Μάλιστα οι Rauscher, Shaw και Ky (1993) υπέθεσαν ότι ακούγοντας έναν συγκεκριμένο τύπο σύνθετης μουσικής, ενεργοποιούνται οι νευροδιαβιβαστές στην περιοχή του εγκεφαλικού φλοιού, στην περιοχή του εγκεφάλου η οποία είναι υπεύθυνη για γνωστικές διαδικασίες. Εκατοντάδες παρόμοιων ερευνών έχουν γίνει προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μουσικής και ιδιαίτερα της μουσικής του Mozart, στην χωρική ικανότητα διαφορετικών ηλικιακών ομάδων. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα είναι αντιφατικά (Weiss, 2003).

## **2.9 Εξάσκηση της Οπτικοχωρικής Ικανότητας**

Υπάρχουν πολλές θεωρίες σχετικά με το γιατί κάποιοι εκπαιδευόμενοι αναπτύσσουν υψηλές χωρικές δεξιότητες και κάποιοι άλλοι φαίνεται να είναι ανεπαρκείς στην ανάπτυξη αυτών των δεξιοτήτων. Υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι η σχεδίαση

τρισεπίστας αντκειμένων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη αυτών των δεξιοτήτων. Ακόμα πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι δραστηριότητες που απαιτούν συντονισμό ματιού και χεριών συντελούν στην ανάπτυξη αυτών των δεξιοτήτων. Δραστηριότητες που βρέθηκαν να αναπτύσσουν τις χωρικές δεξιοότητες περιλαμβάνουν :

- Την ενασχόληση με συναρμολογούμενα παιχνίδια στην παιδική ηλικία
- Τη συμμετοχή σε ομάδες όπως σχεδίου ή μηχανικής στην εφηβική ηλικία
- Το παιχνίδι τρισεπίστας ηλεκτρονικών παιχνιδιών
- Η συμμετοχή σε συγκεκριμένα αθλήματα
- Η ύπαρξη καλά αναπτυγμένων μαθηματικών δεξιοτήτων (Sorby, 1999)

Το βασικό ερώτημα που γεννάται είναι αν η ύπαρξη ή όχι εξάσκησης μπορεί να βελτιώσει την χωρική ικανότητα. Οι περισσότεροι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η εκπαίδευση μπορεί να βελτιώσει την χωρική ικανότητα, ενώ άλλοι δεν συμφωνούν με αυτή την άποψη. Η αιτία αυτής της αμφισβήτησης είναι η αποδοχή ή όχι του ότι η χωρική ικανότητα είναι μια έμφυτη ικανότητα παρά μια δεξιοτητα που μπορεί να εκπαιδευτεί. Παρόλα αυτά, η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι η χωρική ικανότητα αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της ζωής του ατόμου και εξάσκηση μπορεί να οδηγήσει στην βελτίωσή της.

Σε σχετικές έρευνες που αφορούσαν τις στρατηγικές που εφαρμόζονται για την επίλυση χωρικών προβλημάτων από τους εκπαιδευόμενους στη Χημεία, οι ερευνητές βρήκαν ότι οι εκπαιδευόμενοι δεν χρησιμοποιούσαν την ίδια στρατηγική στα τεστ που διενεργούσαν και συχνά άλλαζαν στρατηγική ανάλογα με την πολυπλοκότητα του τεστ. Για παράδειγμα ο Myers (1958) παρατήρησε ότι τα υποκείμενά του χρησιμοποιούσαν στρατηγικές νοητικής οπτικοποίησης για να επιλύσουν προβλήματα αλλά όταν το πρόβλημα περιελάμβανε πιο σύνθετες διεργασίες χρησιμοποιούσαν αναλυτική τεχνική.

Οι Kyllonen, Lohman & Snow (1984) χρησιμοποίησαν ένα τεστ για την εξάσκηση των υποκειμένων τους στην νοητική οπτικοποίηση αλλά και στην εφαρμογή αναλυτικών στρατηγικών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα υποκείμενα με υψηλή χωρική ικανότητα ωφελήθηκαν περισσότερο από τις πρακτικές διεργασίες. Τα υποκείμενα με χαμηλή χωρική ικανότητα ωφελήθηκαν περισσότερο από την εξάσκηση με την χρήση των στρατηγικών. Οι Terlecki, Newcombe & Little (2008) επίσης ισχυρίστηκαν ότι η πρόοδος που κερδίζεται με την εξάσκηση στην νοητική

οπτικοποίηση είναι διαρκής και μάλιστα η συνεχής εξάσκηση των γυναικών σε διεργασίες περιστροφής είναι πολύ σημαντική για την βελτίωση της οπτικοχωτικής τους ικανότητας. Συμπερασματικά η έρευνα απέδειξε ότι η χωρική ικανότητα δεν είναι αμετάβλητη, αντίθετα μπορεί να βελτιωθεί.

Στο πανεπιστήμιο του Massachusetts Institute of Technology (MIT) ανέπτυξαν ένα μάθημα και το εργαστήριό του, για ένα εξάμηνο με σκοπό να βελτιώσουν τη χωρική ικανότητα των εκπαιδευόμενων που εμφάνισαν επίδοση κάτω από 60% στο Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R). Παρόλα αυτά δεν παρακολούθησαν το μάθημα όλοι οι εκπαιδευόμενοι που δεν τα πήγαν καλά στο παραπάνω τεστ. Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας ήταν ότι οι γυναίκες που παρακολούθησαν το μάθημα εμφάνισαν καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη χωρική τους ικανότητα, από αυτές που δεν το παρακολούθησαν. Άρα η εξάσκηση είχε θετική επιρροή στις γυναίκες (Harle, 2010).

Οι Tuckey, Selvaratnam & Bradley (1991) ανέπτυξαν ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα για να βελτιώσουν την οπτική σκέψη των εκπαιδευόμενων και ανακάλυψαν ότι με την εξάσκηση σε αρκετά είδη χωρικών συλλογισμών που χρησιμοποιούνται συνήθως στη Χημεία, βελτίωσαν την χωρική τους ικανότητα (Wu, 2004).

Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Titus & Horsman (2009) οι οποίοι παρατήρησαν ότι οι χωρικές ικανότητες των εκπαιδευόμενων βελτιώθηκαν μετά από συχνή εξάσκηση σε ασκήσεις γεωλογίας που αφορούσαν νοητική οπτικοποίηση. Επίσης παρατήρησαν ότι στην επίδοση στις εξετάσεις αυτοί οι εκπαιδευόμενοι εμφάνισαν υψηλότερα σκορ μόνο όμως στις ερωτήσεις που αφορούσαν δεξιότητες χωρικής ικανότητας και όχι σε όλο το τεστ (Titus & Horsman, 2009).

Έρευνες στο πανεπιστήμιο του Michigan Technological University (MTU) έχουν δείξει ότι, η απάντηση στο πώς θα βελτιωθούν οι χωρικές δεξιότητες, είναι η σχεδίαση. Αν οι εκπαιδευόμενοι σχεδιάζουν μοντέλα με το χέρι τους και όχι με την χρήση υπολογιστή, φαίνεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την βελτίωση των χωρικών δεξιοτήτων. Θεωρείται ότι η σχεδίαση αναπτύσσει την οπτική φαντασία και την δημιουργικότητα. Ακόμα η επαφή των εκπαιδευόμενων με μοντέλα, όχι όμως αυτά που βλέπουν στην οθόνη του υπολογιστή τους, διεγείρει την αντιληπτική περιοχή του εγκεφάλου τους (Sorby, 1999).

Επιστήμονες πιστεύουν ότι στη βελτίωση της χωρικής ικανότητας των εκπαιδευόμενων, συμβάλει και το εκπαιδευτικό σύστημα. Διότι στο τρέχον εκπαιδευτικό σύστημα οι δεξιότητες που αναπτύσσονται είναι λεκτικές και



αναλυτικές. Ο Sommer (1998) επισημαίνει ότι, το εκπαιδευτικό σύστημα θα πρέπει να δώσει πολύ μεγάλη έμφαση στην οπτικοποίηση των πληροφοριών κατά την εκπαιδευτική διαδικασία και στις χωρικές δεξιότητες. Θεωρεί ότι το σχολείο, περισσότερο από κάθε άλλο οργανισμό, είναι υπεύθυνο για την υποβάθμιση την οπτικής σκέψης. Οι περισσότεροι διδάσκοντες όχι μόνο δεν μαθαίνουν στους εκπαιδευόμενους να οπτικοποιούν τις πληροφορίες που δέχονται κατά την διάρκεια της διδασκαλίας, αλλά είναι και εχθρικοί απέναντί στην οπτικοποίηση της πληροφορίας. Την αντιμετωπίζουν ως απλή και αρχέγονη. Μαθήματα όπως το μηχανικό σχέδιο και οι τέχνες, στα οποία η χωρική ικανότητα και σκέψη παίζουν σημαντικό ρόλο, θεωρούνται δευτερεύουσες διανοητικές δραστηριότητες (Sorby, 1999).

Οι σύγχρονες έρευνες στην εκπαίδευση, δείχνουν ότι θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες στρατηγικές διδασκαλίας, οι οποίες θα περιλαμβάνουν δραστηριότητες που θα ενεργοποιούν το δεξιό ημισφαίριο όσο και το αριστερό. Οι εκπαιδευόμενοι θα πρέπει να ενθαρρύνονται να φαντάζονται καταστάσεις και να προβλέπουν αποτελέσματα. Περισσότερος χρόνος θα πρέπει να διατίθεται σε δραστηριότητες νοητικής οπτικοποίησης, έτσι ώστε οι εκπαιδευόμενοι να κατασκευάζουν νοητικές εικόνες των γεγονότων που αναπαρίστανται από την παρουσιαζόμενη πληροφορία (Lord, 1990).

## **2.10 Η χρήση Test Χωρικών Δεξιοτήτων στη Διερεύνηση Οπτικοχωρικών Ικανοτήτων**

Πολλά τεστ χωρικών δεξιοτήτων έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να αποτιμηθούν οι τρεις βασικές συνιστώσες της χωρικής ικανότητας, που όπως είδαμε είναι οι χωρικές σχέσεις, ο χωρικός προσανατολισμός και η χωρική οπτικοποίηση. Οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο θέμα αυτό από το 1920 ως το 1970 οδήγησε στην ανάπτυξη πληθώρας τέτοιων τεστ και κάποιες έρευνες συνεχίζονται μέχρι και σήμερα (Harle, 2010).

Τα τεστ αυτά τα οποία αποτελούν εργαλεία για τη μέτρηση της χωρικής ικανότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις γενικές κατηγορίες:

- Τεστ επίδοσης (Performance Tests)
- Τεστ χαρτιού και μολυβιού (Paper and Pencil Tests)
- Λεκτικά Τεστ (Verbal Tests)
- Δυναμικά Τεστ (Dynamic Tests)

Τα τεστ επίδοσης είναι τα παλαιότερα και περιλαμβάνουν συνήθως δραστηριότητες όπως οι αναδιπλώσεις αντικειμένων, ο χειρισμός κύβων, ο χειρισμός αντικειμένων σε φόρμες. Όλες αυτές οι δραστηριότητες χρησιμοποιούνται σήμερα και για την μέτρηση της νοημοσύνης, γι' αυτό και τις συναντάμε στα πιο γνωστά τεστ γενικής νοημοσύνης για την μέτρηση της μη λεκτικής νοημοσύνης.

Ένα άλλο είδος τεστ επίδοσης αναφέρεται στη μέτρηση της ικανότητας του ατόμου να αντιλαμβάνεται το χώρο σε πραγματικές συνθήκες, όπως να βρίσκει τον συντομότερο δρόμο μεταξύ διαφορετικών περιοχών, να βρίσκει τον προσανατολισμό του στον χώρο κ.α. Πάντως τέτοιου είδους τεστ φαίνεται ότι παρουσιάζουν μέτρια συσχέτιση με άλλα τεστ που μετρούν την χωρική ικανότητα, για αυτό και χρησιμοποιούνται σπάνια.

Τα τεστ χαρτιού και μολυβιού είναι τα πιο πολυχρησιμοποιημένα και βασίζονται στην κλασική δομή των ψυχολογικών τεστ, όπου σχήματα ή προβλήματα παρουσιάζονται σε ένα βιβλιάρκι και το άτομο χρησιμοποιώντας ένα στυλό ή ένα μολύβι σημειώνει την σωστή απάντηση. Οι Eliot & Smith (1983) σε μια ανασκόπησή τους βρήκαν και παρουσίασαν 392 διαφορετικά τεστ αντίληψης χώρου που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία.

Από την άλλη στα λεκτικά τεστ, το άτομο ακούει ένα πρόβλημα, το οποίο απαιτεί συνήθως τη δημιουργία μιας νοητικής εικόνας και στη συνέχεια καλείται να απαντήσει σε μια σειρά από ερωτήσεις. Για παράδειγμα ένα πρόβλημα θα μπορούσε να ήταν το εξής: «Φαντάσου ότι κατευθύνεσαι βόρεια στην συνέχεια στρίψε δεξιά έπειτα προχώρα ευθεία και στην στρίψε πάλι δεξιά. Προς ποια κατεύθυνση κοιτάς;». Σε αυτού του είδους τα τεστ το άτομο καλείται να χρησιμοποιήσει τις χωρικές του ικανότητες με έναν τρόπο που είναι πιο κοντά στην καθημερινή χρήση τους, σε σχέση με τα τεστ χαρτιού και μολυβιού. Παρά το γεγονός ότι παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις με άλλα τεστ αντίληψης χώρου αλλά και με άλλα εξωτερικά κριτήρια δεν έχουν λάβει την προσοχή που ίσως τους αξίζει.

Τέλος ενώ στα περισσότερα τεστ τα ερεθίσματα που παρουσιάζονται είναι στατικά, τα δυναμικά τεστ ακολουθούν μια διαφορετική λογική. Ο Gibson (1937) και αργότερα οι Seibert & Snow (1965) ανέπτυξαν μια σειρά από τεστ που χρησιμοποιούσαν κινούμενες εικόνες ως ερεθίσματα και παρουσιάζονταν στην οθόνη ενός υπολογιστή. Πιο πρόσφατα οι Pellegrino & Hunt (1989), δημιούργησαν μια σειρά από δυναμικά τεστ που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν την ικανότητα του ατόμου να υπολογίζει πραγματική κίνηση, να προβλέπει τροχιές κινούμενων αντικειμένων και να υπολογίζει

χρονικές αφίξεις δύο ή περισσότερων αντικειμένων (να προβλέπει ποιο από τα κινούμενα αντικείμενα θα φτάσει πρώτο σε μια θέση στόχο) (D’Oliviera, 2009).

Εκτός όμως από τις διαφορές στα ερεθίσματα, τα τεστ χωρικής ικανότητας διαφέρουν επίσης και ως προς τον τύπο των απαντήσεων που ζητούν. Για παράδειγμα υπάρχουν τεστ που ζητούν την σωστή απάντηση ανάμεσα σε εναλλακτικές επιλογές, υπάρχουν τεστ που ζητούν από τα άτομα να κατασκευάσουν ή να αναπαράγουν από μνήμης ένα γεωμετρικό σχήμα και τέλος υπάρχουν τεστ που ζητούν από τα άτομα μια λεκτική δήλωση. Σύμφωνα με τον Lohman (1988) για τα τεστ χαρτιού και μολυβιού είναι προτιμότερο να ζητούμε από τα άτομα να κάνουν κάτι (κατασκευή ή αναπαραγωγή ενός σχήματος ή ενός αντικειμένου), αφού τέτοιου είδους ερεθίσματα μπορεί να είναι πιο δύσκολα στην βαθμολόγησή τους, μας δίνουν όμως περισσότερες πληροφορίες για την χωρική ικανότητα του ατόμου όσο και για άλλα στοιχεία όπως για παράδειγμα τη στρατηγική που έχει ακολουθήσει ένα άτομο προκειμένου να προβεί στην λύση του προβλήματος, καθώς μας επιτρέπει την ανάλυση των λαθών που κάνει.

Μια άλλη διαφορά εντοπίζεται ανάμεσα στα τεστ που βασίζονται στο χρόνο και στα τεστ που βασίζονται στα διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας των ερεθισμάτων. Τα τεστ που βασίζονται στο χρόνο τείνουν να μετρούν πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της χωρικής ικανότητας σε σχέση με τα τεστ που δεν έχουν χρονικό περιορισμό αφού η λογική τους είναι διαφορετική. Έτσι σε αυτού του είδους τα τεστ είναι πιο εύκολο να μελετηθούν σε βάθος περισσότερα χαρακτηριστικά της έννοιας (Τσαούσης, 2008).

Σήμερα υπάρχουν αρκετά τεστ που μετρούν τη χωρική ικανότητα, αλλά τα περισσότερα από αυτά περιορίζονται στη μία διάσταση ή χρησιμοποιούν μόνο ερεθίσματα τα οποία για παράδειγμα απαιτούν νοητική περιστροφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εγείρονται πάντα αντιρρήσεις, για το κατά πόσο τα διάφορα τεστ μετρούν όλες τις πιθανές εκφάνσεις (συνιστώσες) της έννοιας της χωρικής ικανότητας. Ο Sjolinder το (1998) προσάρμοσε μια λίστα με τεστ στην οποία τα τεστ είναι κατηγοριοποιημένα ανάλογα με τη συνιστώσα της χωρικής ικανότητας που μετρούν. Έτσι υπάρχουν τεστ που αφορούν στην νοητική περιστροφή μερικά από τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

- Spatial Relations subset of the Primary Mental Abilities Test (PMA-SR) που αφορά στη νοητική περιστροφή διδιάστατων αντικειμένων
- Cards Rotating Test (CRT) που και αυτό αφορά στη περιστροφή διδιάστατων αντικειμένων

- Mental Rotation Test ((V)MRT) που αφορά στη νοητική περιστροφή τρισδιάστατων αντικειμένων
- Generic Mental Rotation Tasks (GMRT) που είναι μια παραλλαγή του τεστ των Shepard and Metzler (1971) με χρονομέτρηση
- Rotation of Images που αφορά στο ταίριασμα εικόνων
- Left or Right Hand Identification που αφορά στους νοητικούς μετασχηματισμούς αναγνωρίζοντας είδωλα από εικόνες με αριστερό ή δεξί προσανατολισμό
- Purdue Spatial Visualization Test (PSVT) στο οποίο παρατηρείται το αρχικό ερέθισμα το οποίο έχει περιστραφεί νοητικά και το ίδιο είδος περιστροφής θα πρέπει να εφαρμοστεί νοητικά στο εξεταζόμενο ερέθισμα και να επιλεγεί η σωστή επιλογή από μια σειρά επιλογών.

Μια άλλη κατηγορία τεστ είναι αυτά που αφορούν την χωρική αντίληψη. Δύο από αυτά είναι τα :

- Rod and Frame Test (RFT) που αφορά στην ρύθμιση ράβδου κάτω από συνθήκες που αποσπών την προσοχή
- Water Level Test (WLT) που δείχνει τον προσανατολισμό του υγρού σε κεκλιμένο επίπεδο

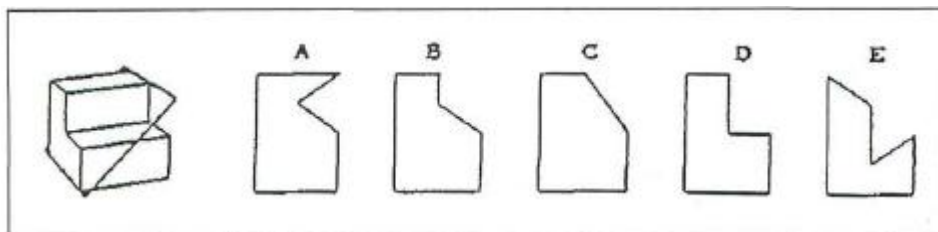
Παρακάτω παραθέτονται μερικά από τα τεστ που αφορούν την χωρική οπτικοποίηση:

- Paper Form Board (PFB) στο οποίο αποφασίζεται ποιο σχήμα γίνεται από ένα σύνολο από κατακερματισμένα τμήματα
- DAT-SR που δείχνει πώς ένα ξετυλιγμένο σχήμα θα μοιάζει όταν τυλιχτεί με συγκεκριμένο τρόπο
- Identical Blocks Test (IBT) προσδιορίζουν ένα μπλοκ από μία λίστα που είναι το ίδιο με ένα πρότυπο με παραλλαγή των προοπτικών
- Block Design subset of various Wechler intelligence scales που αφορά στην ανακατασκευή ενός σχήματος χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα μπλοκς
- Paper Folding (PF) στο οποίο θα πρέπει να αναγνωριστεί το ξετυλιγμένο κομμάτι χαρτιού το οποίο είναι το ίδιο με την τυλιγμένη έκδοσή του
- Embedded Figures Tests (EFT and CEFT) στο οποίο αναγνωρίζεται ένα απλό τμήμα που βρίσκεται ενσωματωμένο σε ένα σύνθετο πρότυπο
- Hidden Figures Test (HFT) όπου και σε αυτό το τεστ αναγνωρίζεται ένα απλό τμήμα που βρίσκεται ενσωματωμένο σε ένα σύνθετο πρότυπο

- Mental Cutting Test (MCT) στο οποίο επιλέγεται η σωστή διατομή που αντιστοιχεί στο κομμένο εξεταζόμενο ερέθισμα (Spatial Abilities Literature Overview)

Τα περισσότερα τεστ χωρικής ικανότητας έχουν αναπτυχθεί για να αποτιμήσουν το χωρικό επίπεδο των ατόμων στα δύο πρώτα στάδια ανάπτυξης. Στο πρώτο στάδιο της ανάπτυξης των χωρικών δεξιοτήτων σύμφωνα με τη θεωρία του Piaget, τεστ όπως το Minnesota Paper Form Board (MPFB) και το Group Embedded Figures (GEF) αποτιμούν τις τοπολογικές χωρικές ικανότητες του ατόμου. Αυτά τα τεστ αφορούν δισδιάστατα αντικείμενα και συνήθως δεν παρουσιάζουν τόσο σημαντικό ενδιαφέρον στους περισσότερους διδάσκοντες της επιστήμης των μηχανικών.

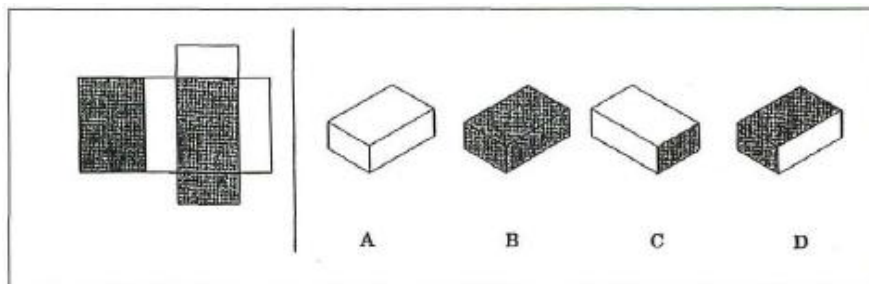
Στο δεύτερο στάδιο της ανάπτυξης των χωρικών δεξιοτήτων σύμφωνα με την θεωρία του Piaget, υπάρχουν αρκετά τεστ τα οποία σκοπό έχουν να αποτιμήσουν τα επίπεδα της προβολικής ικανότητας του ατόμου. Μιας και είναι τεστ που αφορούν τρισδιάστατα αντικείμενα, ένα μεγάλο μέρος της εκπαιδευτικής έρευνας ασχολείται με αυτά. Για παράδειγμα το Mental Cutting Test (MCT) αναπτύχθηκε για τις εισαγωγικές εξετάσεις στο πανεπιστήμιο στις ΗΠΑ και αποτελείται από 25 ερωτήσεις. Για κάθε ερώτηση στις εξετάσεις οι εκπαιδευόμενοι παρατηρούν ένα αρχικό ερέθισμα το οποίο έχει κοπεί. Στη συνέχεια θα πρέπει να επιλέξουν την σωστή διατομή ανάμεσα σε πέντε εναλλακτικές επιλογές. Ένα παράδειγμα αυτού του τεστ παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.



**Εικόνα 5:** Ένα παράδειγμα από το Mental Cutting Test

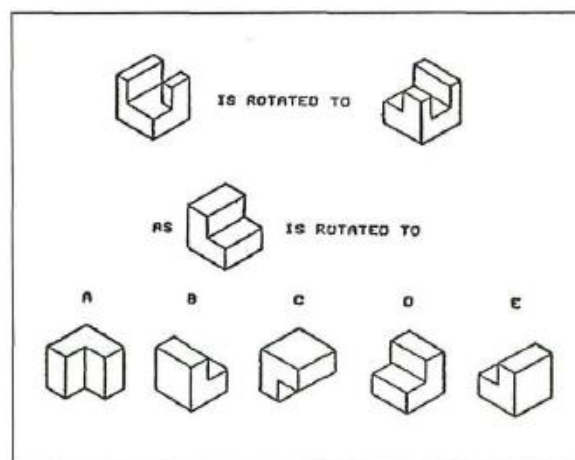
Το Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT:SR) περιλαμβάνει 50 ερωτήσεις. Η διεργασία που εξετάζει το τεστ είναι το «δίπλωμα» του χαρτιού στις «διακεκομμένες γραμμές» που φέρει επάνω του και ο σχηματισμός ενός τρισδιάστατου αντικειμένου από ένα δισδιάστατο. Η επιλογή του σωστού τρισδιάστατου αντικειμένου από τις τέσσερις εναλλακτικές επιλογές που προτείνονται και ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι ο τρόπος που απαντούν στο

τεστ. Σε μια μελέτη οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι οι επιδόσεις σε αυτό το τεστ ήταν η πιο σημαντική πρόβλεψη που σχετιζόταν με την επιτυχία των εκπαιδευομένων σε μαθήματα μηχανολογικού σχεδίου, όταν συγκρίθηκε με τρία άλλα τεστ χωρικής οπτικοποίησης, συμπεριλαμβανομένου του MCT τεστ. Ένα δείγμα προβλήματος του DAT:SR τεστ παρουσιάζεται στην Εικόνα 6 που ακολουθεί:



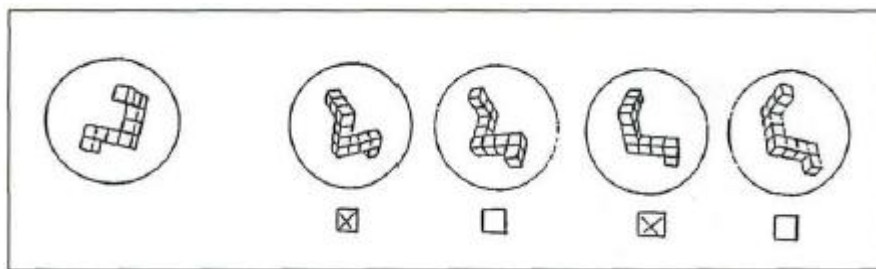
**Εικόνα 6:** Ένα δείγμα από το DAT:SR τεστ

Επιπλέον αρκετά τεστ έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να αποτιμηθούν τα επίπεδα της δεξιότητας του ατόμου που αφορούν τη νοητική περιστροφή. Το Purdue Spatial Visualization Test : Rotations (PSVT:R) ανήκει σε αυτήν την κατηγορία, αναπτύχθηκε από τον Guay (1977) και αποτελείται από 30 ερωτήσεις. Σε αυτό το τεστ οι εκπαιδευόμενοι παρατηρούν ένα αρχικό αντικείμενο και το πώς αυτό φαίνεται μετά από τη νοητική περιστροφή του στον χώρο. Στην συνέχεια παρατηρούν ένα δεύτερο αντικείμενο και τους ζητείται να υποδείξουν πώς θα φαινόταν αν περιστρεφόταν με τον ίδιο τρόπο όπως και το αρχικό αντικείμενο. Η επίδοση των εκπαιδευομένων στο τεστ αυτό θεωρήθηκε ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες επιτυχίας σε μαθήματα μηχανολογικού σχεδίου. Ένα δείγμα του τεστ φαίνεται στην Εικόνα 7.



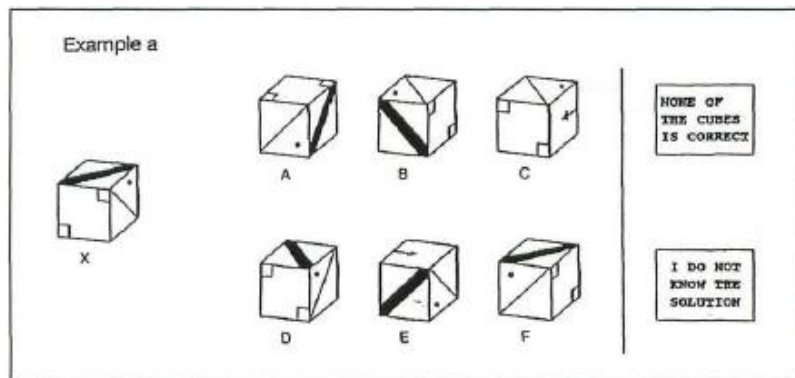
**Εικόνα 7:** Ένα παράδειγμα από το Purdue Spatial Visualization Test:Rotations (PSVT:R)

Το Mental Rotation Test (MRT) των Vandenberg & Kuse 1978) είναι ένα τεστ με το οποίο αποτιμάται η δεξιότητα του ατόμου να οπτικοποιεί περιστρεφόμενα στερεά σώματα. Το τεστ περιλαμβάνει 20 ερωτήσεις. Κάθε μία αποτελείται από μια αρχική εικόνα με δύο σωστές και δύο λανθασμένες εναλλακτικές επιλογές. Οι εκπαιδευόμενοι θα πρέπει να απαντήσουν ποιες δύο εναλλακτικές επιλογές (εικόνες) προκύπτουν από περιστροφή της αρχικής εικόνας. Στην Εικόνα 8 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα δείγμα αυτού του τεστ.



**Εικόνα 8:** Ένα παράδειγμα από το Mental Rotation Test (MRT)

Ένα ακόμα τεστ το οποίο αναπτύχθηκε προκειμένου να αποτιμηθεί η ικανότητα του ατόμου να οπτικοποιεί περιστρεφόμενα στερεά σώματα είναι το 3-Dimensional Cube (3DC) που αναπτύχθηκε από τον Gittler (1998). Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται ένα πρόβλημα από το 3DC τεστ.



**Εικόνα 9:** Ένα πρόβλημα από το 3-Dimensional Cube Test

Το τεστ αποτελείται από 18 ερωτήσεις από τις οποίες οι 17 χρησιμοποιούνται για να ελεγχθούν οι επιδόσεις των εκπαιδευομένων, καθώς η μία είναι ερώτηση εξάσκησης. Για κάθε ερώτηση, από ένα αρχικό ερέθισμα που είναι ένας κύβος, είναι ορατά τα μοτίβα των τριών εδρών του. Οι εκπαιδευόμενοι ενημερώνονται ότι το αρχικό ερέθισμα έχει διαφορετικό μοτίβο σε κάθε μια από τις έξι έδρες του. Οι

εκπαιδευόμενοι θα πρέπει να επιλέξουν από τις έξι εναλλακτικές επιλογές ποια είναι αυτή η οποία αναπαριστά τον κύβο μετά από περιστροφή στον χώρο. Δύο επιπλέον επιλογές «Δεν γνωρίζω την απάντηση» και «Κανένας από τους κύβους δεν είναι σωστός», είναι επίσης διαθέσιμες. Αυτό το τεστ δεν έχει χρονικό περιορισμό, διότι αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε σύγκυση μεταξύ της ταχύτητας και της μέτρησης των επιπέδων της χωρικής δεξιότητας (συνήθως χρειάζονται 1 με 40 λεπτά για την ολοκλήρωση του τεστ. (Sorby, 1999).



### 3. Συσχέτιση Χωρικών Ικανοτήτων με τα Επίπεδα Κατανόησης και τις Επιδόσεις των Εκπαιδευομένων στη Χημεία

#### 3.1 Συσχέτιση Οπτικοχωρικής Ικανότητας με τα Επίπεδα Κατανόησης της Χημείας

«Η Φαντασία είναι σημαντικότερη από την Γνώση». Αυτά τα λόγια του Albert Einstein απεικονίζουν την παρακάτω άποψη με μεγάλη ακρίβεια: η γνώση από μόνη της δεν είναι αρκετή για την επιστήμη ή χημική εκπαίδευση προκειμένου να κατανοηθούν οι έννοιες της Χημείας. Η απομνημόνευση των τύπων και των χημικών εξισώσεων δεν θα πρέπει να είναι στόχος των μαθημάτων Χημείας (Barke, 2001). Αυτό που φαίνεται πιο σημαντικό για την κατανόηση των χημικών εννοιών, είναι η οπτικοποίηση και η διαχείριση των μορίων σε τρισδιάστατο χώρο. Για παράδειγμα ο προσανατολισμός στο χώρο των τροχιακών, οι μοριακές γεωμετρίες, οι κρυσταλλικές δομές, οι R και S διαμορφώσεις των οργανικών μορίων, καθώς και η θεωρία ομάδας είναι μερικές εφαρμογές που απαιτούν οπτικοποίηση και νοητικό χειρισμό σε δύο ή τρεις διαστάσεις (Coleman, 1998).

Οι Border & McMillen (1986) υποστηρίζουν ότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ των χωρικών ικανοτήτων και της επίλυσης προβλημάτων στη Χημεία. Αυτή η σχέση αρχίζει από το πρώτο στάδιο της επίλυσης του προβλήματος, το στάδιο Polya (1945) το οποίο ορίζεται ως «κατανόηση» (Bodner & Pribyl, 1987). Το στάδιο της κατανόησης αποτελεί τη βάση για την επίλυση ενός προβλήματος. Οι εκπαιδευόμενοι θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουν το πρόβλημά που τους δίνεται και κατόπιν να το επιλύσουν. Για αυτό θα πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία στους τρόπους, οι οποίοι θα βοηθήσουν και θα ενθαρρύνουν τους εκπαιδευόμενους, στο να κατανοούν αυτό που έχουν να επιλύσουν, ώστε να ολοκληρώσουν με επιτυχία το στάδιο της επίλυσης του προβλήματος (Carter & LaRussa, 1987).

Οι Border & McMillen (1986) υποστηρίζουν ότι οι εκπαιδευόμενοι με υψηλές χωρικές ικανότητες ήταν καλύτεροι στο να κατανοήσουν, να εμπεδώσουν την σχετική πληροφορία από το πρόβλημα και να μετασχηματίσουν το πρόβλημα σε άλλο, από το οποίο μπορούν να αναγνωρίσουν τα δεδομένα και τα ζητούμενα. (Bodner & Pribyl, 1987).

Οι εκπαιδευόμενοι με υψηλή χωρική ικανότητα, είναι πιο πιθανό να αναπτύξουν αναπαραστάσεις οι οποίες θα μπορούν να περιγραφούν ως «φυσικές». Οι αναπαραστάσεις αυτές εμφανίζουν συνάφεια, αντιπροσωπευτικότητα και

συνδεσιμότητα (connectedness), με την έννοια ότι αυτές οι αναπαραστάσεις είναι περισσότερο ολοκληρωμένες, με μεγαλύτερη ακρίβεια αναπαριστούσαν τα συστατικά του προβλήματος και μπορούν να συνδεθούν καλύτερα με την προηγούμενη γνώση των εκπαιδευόμενων. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη, διότι η ικανότητα της αντίληψης των σχέσεων και της επεξεργασίας των πληροφοριών ολιστικά, έχει περιγραφεί ως ένα από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της χωρικής ικανότητας.

Η Yackel (1984) έθεσε ως ερευνητικό ερώτημα, το γιατί οι εκπαιδευόμενοι οι οποίοι σχεδιάζουν προσχέδια ή μοριακές δομές για την επίλυση προβλημάτων Χημείας είναι πιο πιθανό να βρουν τη σωστή απάντηση. Η Yackel (1984) συμπέρανε ότι τα διαγράμματα λειτουργούν ως μια εξωτερική βοήθεια για την μνήμη, καθώς διευκολύνουν το σχηματισμό των διαδοχικών νοητικών εικόνων. Ακόμα τα διαγράμματα δίνουν την δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους να εστιάσουν την προσοχή τους σε πρόσθετες σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του προβλήματος (Bodner & Pribyl, 1987).

### **3.2 Συσχέτιση Χωρικών Ικανοτήτων και Επιδόσεων των Εκπαιδευόμενων στη Εκμάθηση της Χημείας**

Ενδιαφέρον αποτελεί το κατά πόσο οι χωρικές ικανότητες σχετίζονται με τις επιδόσεις των εκπαιδευόμενων στην εκμάθηση της Χημείας. Οι Bodner & MacMillen (1986) ερεύνησαν τις επιδόσεις των εκπαιδευόμενων στην Χημεία σε προβλήματα με και χωρίς φανερά χωρικά συστατικά. Ανακάλυψαν ότι η οπτικοχωρικές δεξιότητές τους, μερικώς εξηγούσαν τις επιδόσεις τους σε προβλήματα Χημείας χωρικού τύπου όπως και σε μη χωρικού τύπου. Συνέχισαν όμως την έρευνά τους σε ό,τι αφορά τη σχέση μεταξύ των χωρικών ικανοτήτων και της επίλυσης των προβλημάτων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, οι εκπαιδευόμενοι με υψηλή χωρική ικανότητα εμφάνισαν υψηλότερα σκορ στα προβλήματα τα οποία απαιτούσαν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων από ό,τι τη συνηθισμένη εφαρμογή ενός απλού αλγορίθμου. Η σχέση μάλιστα ήταν πιο δυνατή σε ερωτήσεις οι οποίες απαιτούσαν πολλά υπολογιστικά βήματα και αναδόμηση σχετικής πληροφορίας από το πρόβλημα.

Οι έρευνες του Bodner κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ενώ πιθανόν τα οπτικοχωρικά προβλήματα της Χημείας να απαιτούν οπτικοχωρικές ικανότητες, δεν είναι ξεκάθαρο γιατί οι οπτικοχωρικές δεξιότητες σχετίζονται με τα μη χωρικά προβλήματα. Οι επιστήμονες συμφώνησαν στο γεγονός ότι στα προβλήματα στοιχειομετρίας για παράδειγμα, απαιτείται οπτικοχωρική σκέψη, διότι η επίλυσή τους βασίζεται πάνω σε

πολλαπλά βήματα υπολογισμών προκειμένου να προσεγγιστεί η λύση τους. Επομένως η επίδοση των εκπαιδευόμενων στα μαθηματικά που συνδέεται με την οπτικοχωρική ικανότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων (Bodner & MacMillen, 1986; Wu, 2004). Σύμφωνα με τους Pattison & Greeve (1984) και τα μη χωρικά προβλήματα πιθανόν να περιλαμβάνουν χωρική σκέψη, όπως ο νοητικός χειρισμός αριθμών και ο υπολογισμός ποσοτήτων.

Οι Bodner & Pribyl (1987) απέδειξαν ότι υπάρχει στενή σχέση ανάμεσα στις οπτικοχωρικές ικανότητες των εκπαιδευόμενων και τις δεξιότητές τους σχετικά με τη επίλυση προβλημάτων Χημείας και επομένως με τις επιδόσεις τους. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι εκπαιδευόμενοι με υψηλή χωρική ικανότητα που είχαν την τάση να σχεδιάζουν μοριακές δομές και να οπτικοποιούν το πρόβλημά τους εμφάνισαν καλύτερες επιδόσεις στην επίλυση προβλημάτων Χημείας, από τους εκπαιδευόμενους με χαμηλή χωρική ικανότητα οι οποίοι σχεδιάζαν λιγότερες μοριακές δομές (Wu, 2004; Mohler, 2008; Pribyl & Bodner, 1987)

Οι Carter, LaRussa & Bodner (1987) διεξήγαγαν έρευνα με στόχο να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ της χωρικής ικανότητας και των επιδόσεων των φοιτητών σε εισαγωγικά μαθήματα Χημείας. Εφάρμοσαν το PSVT:R τεστ των Bodner & Guay (1977) για την μέτρηση της χωρικής ικανότητας, ενώ για την μέτρηση των επιδόσεων στη Χημεία χρησιμοποίησαν μονόωρες εξετάσεις και τελικές εξετάσεις. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι οι φοιτητές στο μάθημα της Γενικής Χημείας με υψηλή χωρική ικανότητα εμφάνισαν σημαντικά καλύτερες επιδόσεις στις εξετάσεις, από αυτούς με χαμηλή χωρική ικανότητα, σε ερωτήσεις που αφορούσαν την μοριακή γεωμετρία και τις κρυσταλλικές δομές (Mohler, 2008; Carter et al. 1987).

Ο Ferk (2003) και οι συνεργάτες του με την έρευνά τους έδειξαν ότι η χρήση των μοντέλων καθώς και η προηγούμενη εμπειρία, όχι μόνο από τη χρήση των αναπαραστάσεων των μοριακών δομών αλλά και από άλλα θέματα τα οποία περιλαμβάνουν χωρική σκέψη, είχαν ως αποτέλεσμα τις καλύτερες επιδόσεις των εκπαιδευόμενων στο τεστ της έρευνάς τους. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πλειοψηφία των εκπαιδευόμενων μπορούσαν να ανταπεξέλθουν σε διαδικασίες που περιελάμβαναν την σωστή αντίληψη μιας τρισδιάστατης μοριακής δομής και μία επιπλέον διεργασία (περιστροφή ή κατοπτρισμό). Αντίθετα όταν η διαδικασία περιελάμβανε δύο επιπλέον διεργασίες ταυτόχρονα, τότε αυτό ήταν αρκετά σύνθετο για τους περισσότερους εκπαιδευόμενους. Παρόλα αυτά οι εκπαιδευόμενοι με

δεξιότητες υψηλής χωρικής σχέσης εμφάνισαν τις καλύτερες επιδόσεις, όπως και αυτοί με τις υψηλότερες δεξιότητες χωρικής οπτικοποίησης (Ferk, 2003).

Ένα πολύ μικρό ποσοστό ερευνών, δείχνει ότι η σημαντική σχέση που υπάρχει μεταξύ της χωρικής ικανότητας και της δεξιότητας επίλυσης προβλημάτων, πιθανόν να βασίζεται πάνω σε έναν πιο γενικό γνωστικό παράγοντα, όπως είναι οι γενικές συλλογιστικές δεξιότητες ή η ευφυΐα, παρά στην οπτικοχωρική σκέψη (Wu, 2004). Οι γενικές συλλογιστικές δεξιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη της επίδοσης σε σύνθετα χωρικά προβλήματα. Αλλά ακόμα δεν υπάρχουν αρκετές έρευνες που συστηματικά να διαχωρίζουν το ρόλο των οπτικοχωρικών ικανοτήτων από των γενικών γνωστικών παραγόντων.

Τέλος για να μπορέσουμε να διευκρινίσουμε την ιδιαίτερη σχέση μεταξύ των χωρικών ικανοτήτων και των επιδόσεων στη Χημεία θα πρέπει επακριβώς να κατανοήσουμε τι είδους χημικές διεργασίες περιλαμβάνει η οπτικοχωρική σκέψη. Οι εκπαιδευόμενοι όταν επιλύουν ένα πρόβλημα, πιθανόν να οπτικοποιούν ή να μετασχηματίζουν χημικές αναπαραστάσεις σε άλλη μορφή, η οποία τους επιτρέπει να εξάγουν αποτελεσματικά συμπεράσματα. Η ικανότητα της οπτικοποίησης αναπαραστάσεων και του μετασχηματισμού αυτών, απαιτούν δεξιότητες οπτικοχωρικής σκέψης και ίσως να αποτελούν την βάση για την επίλυση προβλημάτων Χημείας (Wu, 2004).

#### **4. Διερεύνηση της Οπτικοχωρικής Ικανότητας σε Φοιτητές Χημείας του ΑΠΘ**

Στη Χημική εκπαίδευση η αντίληψη, η κατανόηση και ο χειρισμός μοριακών αναπαραστάσεων αποτελούν απαραίτητες γνωστικές διεργασίες.

Η οπτικοχωρική ικανότητα (visual spatial ability), αποτελεί βασικό παράγοντα της χωρικής ικανότητας (spatial ability) και περιλαμβάνει τη νοητική οπτικοποίηση, τη μεταφορά και το χειρισμό μη λεκτικών πληροφοριών, όπως σύμβολα, εικόνες, αντικείμενα και τμήματα αυτών στο δισδιάστατο (2D) και τρισδιάστατο (3D) χώρο (Carroll, 1993).

Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι στη Χημεία υπάρχει μία σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην οπτικοχωρική ικανότητα των διδασκόμενων και στην κατανόηση των υποκείμενων εννοιών των χημικών αναπαραστάσεων. Ακόμα πολλές έρευνες έχουν δείξει μία θετική συσχέτιση μεταξύ της χωρικής ικανότητας των διδασκόμενων και των επιδόσεων τους στη Χημεία (Pribyl & Bodner, 1987; Treagust, Duit & Niewswandt, 2000; Bodner & Guay, 1997; Harle & Towns, 2010).

##### **4.1 Σκοπός και στόχοι της έρευνας**

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της γενικής οπτικοχωρικής ικανότητας φοιτητών Χημείας και η διερεύνηση της δεξιότητάς τους να οπτικοποιούν και να χειρίζονται νοητικά (περιστροφή και κατοπτρισμός) μοριακές δομές μέσα από την παρατήρηση των δισδιάστατων συμβολικών αναπαραστάσεων τους.

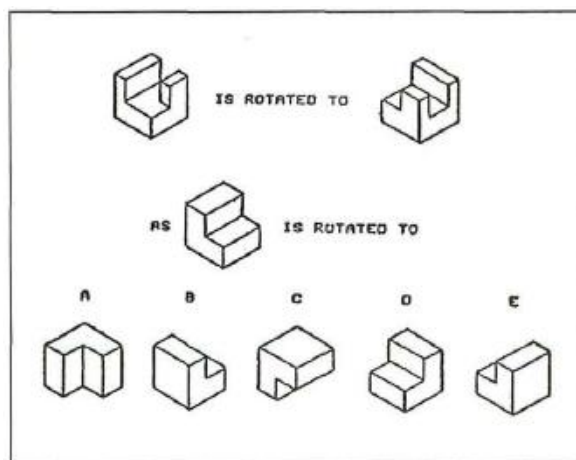
Για τον σκοπό αυτόν στο Τμήμα Χημείας του Α.Π.Θ. προχωρήσαμε στην ηλεκτρονική μεταφορά και την εφαρμογή σε πρωτοετείς φοιτητές Χημείας, του τεστ PSVT:R των Bodner και Guay (1977), καθώς και στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή δύο πρωτότυπων ηλεκτρονικών τεστ, του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

##### **4.2 Μέθοδος και Εργαλεία της έρευνας**

Οι τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των τεστ της εφαρμογής ήταν το πρόγραμμα Illustrator της Adobe για τον σχεδιασμό των δισδιάστατων (2D) αντικειμένων του Purdue τεστ, καθώς και το πρόγραμμα Chem Draw για τον σχεδιασμό των συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων. Τέλος η εφαρμογή αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα Director της Adobe.

#### 4.2.1 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R

Η πρώτη εφαρμογή που αναπτύχθηκε για τον σκοπό της έρευνάς μας ήταν το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R», που αποτελεί την ηλεκτρονική μεταφορά του πρωτότυπου PSVT:R τεστ των Bodner & Guay (1977). Η αρχική έκδοση του τεστ αποτελούνταν από 30 ερωτήσεις. Μια άλλη μεταγενέστερη έκδοση του τεστ (1997) αποτελείται από 20 ερωτήσεις, μετά από την εξαγωγή κάποιων από τις 30 του πρωτότυπου τεστ. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 10) φαίνεται ένα στιγμιότυπο από το PSVT:R των Bodner & Guay (1977).



**Εικόνα 10:** Ένα στιγμιότυπο από το Purdue Spatial Visualization Test:Rotations (PSVT:R) των Bodner & Guay (1977).

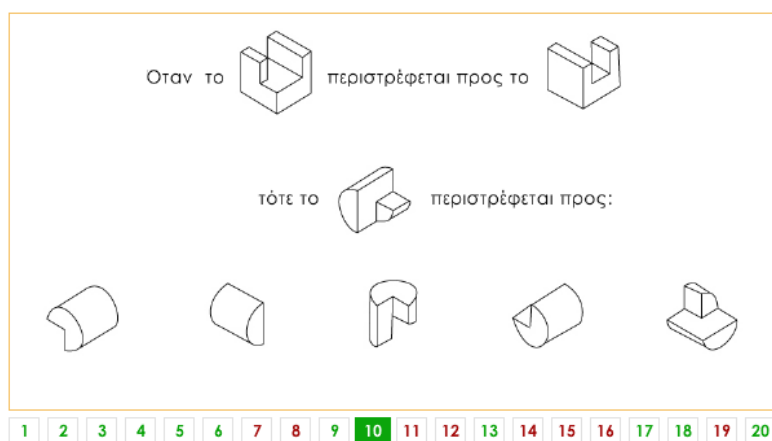
Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε εξετάζει τις 20 ερωτήσεις των Bodner & Guay, χωρίς καμία τροποποίηση στον τρόπο που είναι διατυπωμένες. Επιπλέον στοιχεία διάδρασης της εφαρμογής επιτρέπουν στον χρήστη να αλληλεπιδράσει με τις 20 ερωτήσεις του τεστ με τρόπο ανάλογο της συμβατικής συμπλήρωσης του έντυπου τεστ. Για παράδειγμα, στη διαδραστική εφαρμογή του τεστ PSVT:R οι 20 ερωτήσεις εμφανίζονται πάντα με την ίδια σειρά. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν και να απαντήσουν κάθε ερώτηση ή να την προσπεράσουν χωρίς να απαντήσουν και να επανέλθουν αργότερα. Δεν υπάρχει όμως η δυνατότητα πολλαπλών προσπαθειών και αλλαγής/τροποποίησης δοσμένης απάντησης. Σε αυτό σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι, σε κάθε προσπάθεια συμπλήρωσης του τεστ, γίνεται ανακάτεμα των εναλλακτικών απαντήσεων μέσα στις ερωτήσεις, για να διασφαλιστεί ότι δε θα «συνεργάζονται» οι φοιτητές κατά την ώρα συμπλήρωσης του τεστ. Όπως και στο

πρωτότυπο τεστ των Bodner & Guay (1977), ο διαθέσιμος χρόνος συμπλήρωσης του τεστ, έχει οριστεί στα 10 λεπτά.

Το τεστ απαιτεί νοητικές διεργασίες σε νοητικές αναπαραστάσεις αντικειμένων. Η επιλογή του PSVT:R τεστ έγινε διότι μεταξύ άλλων τεστ που εξετάζουν νοητική περιστροφή, όπως το MRT (Mental Rotation Test) τεστ, εμφανίζεται στη βιβλιογραφία για εκτίμηση της οπτικοχωρικής ικανότητας σε έρευνες που σχετίζονται με τη μάθηση στη Χημεία.

Επίσης σε αντίθεση με άλλα τεστ της κατηγορίας του, στο PSVT:R τεστ οι εξεταζόμενοι άξονες περιστροφής αντιστοιχούν σε φυσικό άξονα του εξεταζόμενου αντικειμένου. Ακόμα το PSVT:R τεστ περιέχει ερωτήσεις στις οποίες χαρακτηριστικές πτυχές των εξεταζόμενων αντικειμένων είναι κρυμμένες όπως φαίνεται στην Εικόνα 11, προκαλώντας τον ερωτώμενο να φανταστεί το αντικείμενο στο χώρο. Επιπλέον στο τεστ εξετάζονται απλές διεργασίες περιστροφής γύρω από έναν άξονα, αλλά και σύνθετες διεργασίες γύρω από δύο άξονες.

Θεωρείται ότι προκαλεί την εφαρμογή ολιστικής προσέγγισης έναντι των αναλυτικών στρατηγικών, καθώς τα οπτικά ερεθίσματα (αντικείμενα) προσλαμβάνονται σαν μια δομημένη τρισδιάστατη οντότητα (Gestalt). Τέλος προκειμένου να αποφευχθεί η ανάπτυξη αναλυτικών στρατηγικών από τα άτομα που συμπληρώνουν το τεστ, επιβλήθηκε αυστηρά το χρονικό όριο των 10 λεπτών για την έκδοση των 20 ερωτήσεων.

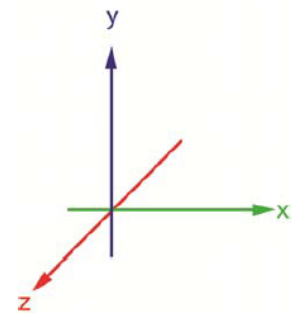


**Εικόνα 11:** Η 10<sup>η</sup> ερώτηση του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, PSVT:R» όπου φαίνεται ότι χαρακτηριστικές πτυχές του αντικειμένου είναι κρυμμένες.

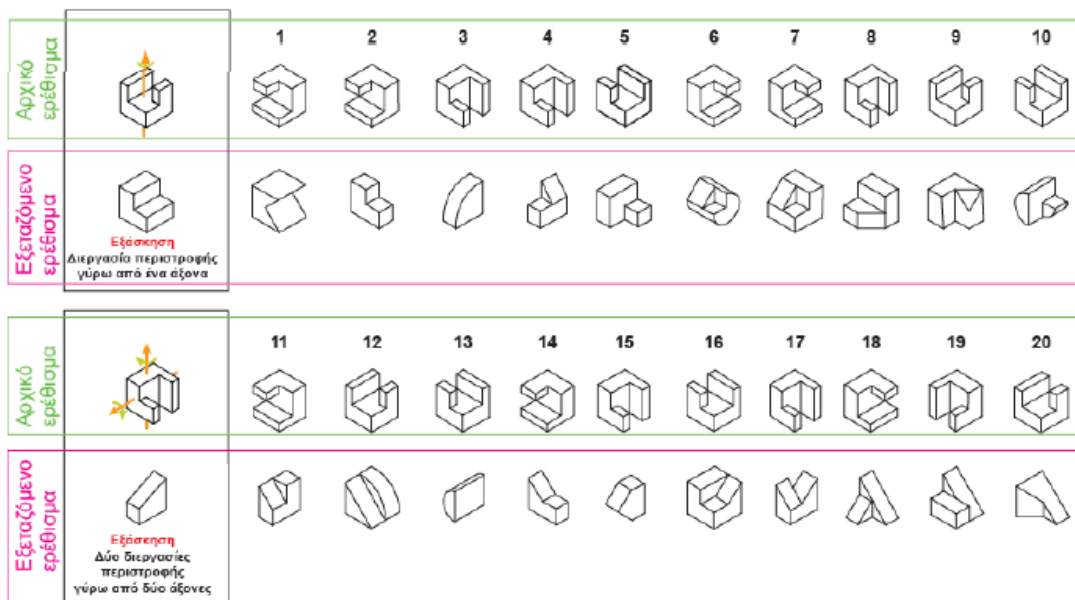
Τα ερεθίσματα τα οποία χρησιμοποιούνται στις ερωτήσεις είναι τρισδιάστατα αντικείμενα τα οποία έχουν σχεδιαστεί σε δισδιάστατη ισομετρική μορφή, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 12). Στις 20 ερωτήσεις του τεστ το

αρχικό ερέθισμα είναι πάντα το ίδιο αντικείμενο αλλά με διαφορετικό προσανατολισμό.

Οι διεργασίες που ελέγχονται είναι περιστροφές γύρω από έναν άξονα (μονή περιστροφή) ή δύο διαφορετικούς άξονες (διπλή περιστροφή), του συστήματος καρτεσιανών συντεταγμένων (Σχήμα 2). Οι εξεταζόμενες διεργασίες περιστροφής διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς μια γωνία περιστροφής περί των αξόνων x, y, z σύμφωνα με το σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων. Σε κάθε έναν άξονα η περιστροφή των δισδιάστατων αντικειμένων, μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά  $90^\circ$ , ή κατά  $180^\circ$ .



Σχήμα 2: Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων



Εικόνα 12: Τα ερεθίσματα που εμφανίζονται στις 20 ερωτήσεις του PSVT:R τεστ

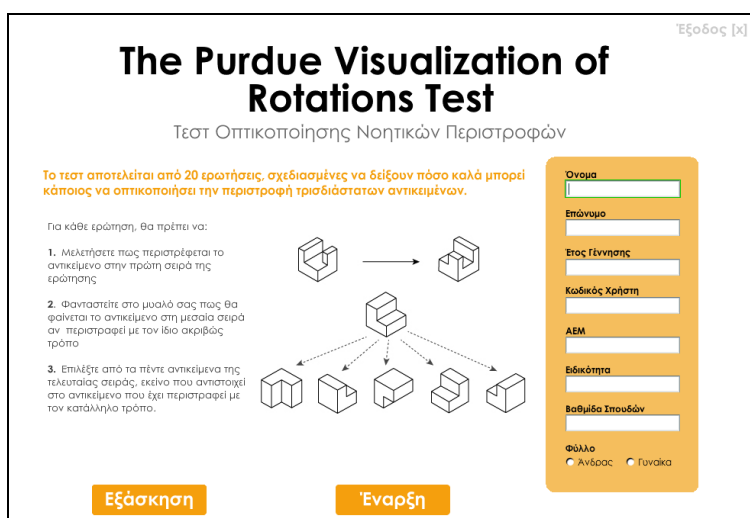
Η κάθε ερώτηση του τεστ αποτελείται από τρεις γραμμές και οι συμμετέχοντες θα πρέπει να ακολουθήσουν την εξής διαδικασία προκειμένου να απαντήσουν:

- Να παρατηρήσουν πώς περιστρέφεται το αντικείμενο στην πρώτη γραμμή της ερώτησης.
- Να απεικονίσουν στο μυαλό τους πώς θα φαίνεται το αντικείμενο που βρίσκεται στην μεσαία γραμμή της ερώτησης, όταν περιστραφεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.
- Να επιλέξουν από τις πέντε εναλλακτικές επιλογές που βρίσκονται στην τρίτη γραμμή της ερώτησης, αυτή που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας περιστροφής του εξεταζόμενου αντικειμένου.



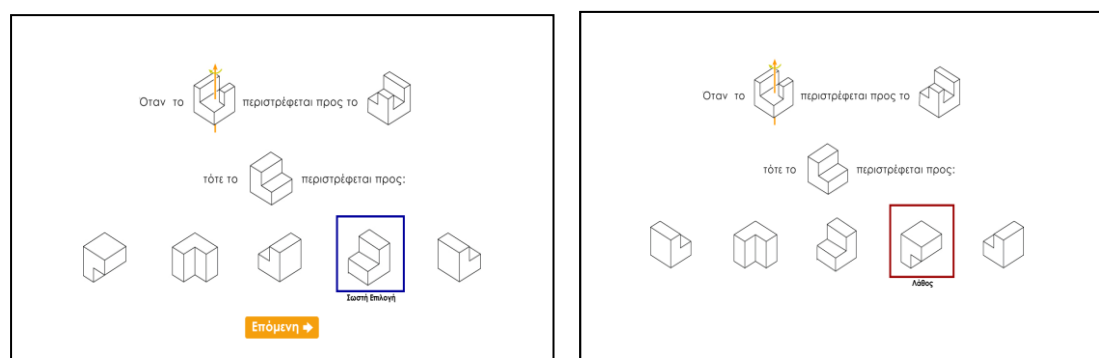
## Σχεδιασμός του τεστ

Όπως φαίνεται στην αρχική σελίδα της εφαρμογής (Εικόνα 13), υπάρχει φόρμα όπου οι χρήστες καταχωρούν τα προσωπικά τους στοιχεία. Έχουν τη δυνατότητα να κάνουν εξάσκηση πριν από την συμπλήρωση του τεστ από την επιλογή «Εξάσκηση» της εφαρμογής. Τους δίνεται όμως και η δυνατότητα να ξεκινήσουν κατευθείαν την προσπάθειά τους στο τεστ επιλέγοντας απευθείας την επιλογή «Έναρξη» στην αρχική σελίδα.



Εικόνα 13: Αρχική σελίδα της εφαρμογής «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, PSVT:R»

Στην εξάσκηση υπάρχουν ερωτήσεις παρόμοιες, όχι ίδιες, με αυτές που δίνονται στο τεστ. Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό ερώτημα της εξάσκησης.



(i)

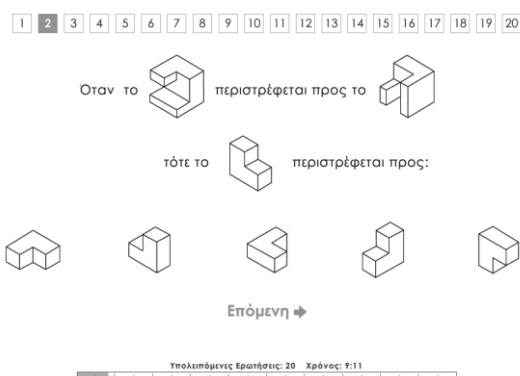
(ii)

Εικόνα 14: Αντιπροσωπευτικό ερώτημα της εξάσκησης του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, PSVT:R» του Πανεπιστημίου Purdue, όπου στην ανατροφοδότηση παρουσιάζεται ο άξονας περιστροφής.

Επιπλέον σε αντίθεση με το τεστ υπάρχει άμεση ανατροφοδότηση των απαντήσεων των χρηστών, καθώς και εμφάνιση του εξεταζόμενου άξονα περιστροφής ως προς τον

οποίο στράφηκε το εξεταζόμενο αντικείμενο στην πρώτη σειρά. Για να μπορέσει ο χρήστης να δει την επόμενη ερώτηση θα πρέπει να δώσει την σωστή απάντηση.

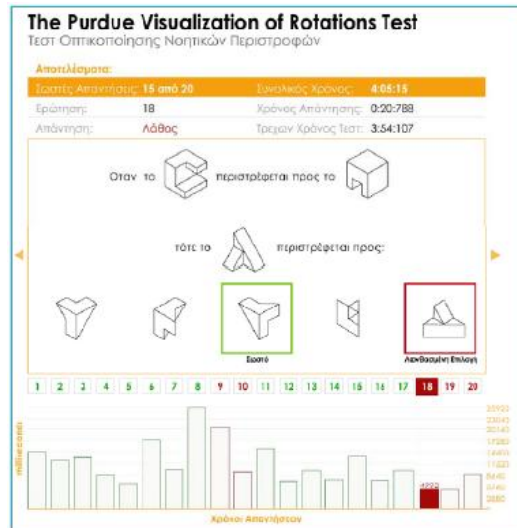
Αν ο χρήστης επιλέξει μέσω της επιλογής «Έναρξη», να πραγματοποιήσει το τεστ, τότε θα αντικρύσει την πρώτη από τις συνολικά 20 ερωτήσεις του τεστ. Όλες οι ερωτήσεις έχουν την ίδια μορφή με τις ερωτήσεις στην εξάσκηση, χωρίς να επαναλαμβάνεται καμία από αυτές. Βασική διαφορά είναι ότι, κατά τη διάρκεια του τεστ, οι συμμετέχοντες δεν έχουν άμεση ανατροφοδότηση των απαντήσεών τους όπως στην εξάσκηση. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 15), παρουσιάζεται το δεύτερο από τα 20 ερωτήματα του τεστ. Το ζητούμενο μέσα στο τεστ είναι οι συμμετέχοντες να απαντήσουν σε όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο και να επιτύχουν τον μικρότερο δυνατό αριθμό λανθασμένων απαντήσεων.



**Εικόνα 15:** Στιγμιότυπο από τη 2<sup>η</sup> ερώτηση (item) της ηλεκτρονικής έκδοσης του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, PSVT:R» του Πανεπιστημίου Purdue.

Στο PSVT:R τεστ οι ερωτήσεις από την 1<sup>η</sup> έως 10<sup>η</sup> εξετάζουν απλή διεργασία περιστροφής γύρω από έναν άξονα x,y ή z κατά 90° ή 180°, ενώ από την 11<sup>η</sup> έως την 20<sup>η</sup> εξετάζονται δύο διαδοχικές διεργασίες περιστροφής γύρω από δύο διαφορετικούς άξονες κατά 90° η μία και 90° η άλλη ή 90° η μία και 180° η άλλη.

Μετά από την ολοκλήρωση της προσπάθειας στο PSVT:R τεστ, υπάρχει ανατροφοδότηση αυτής της προσπάθειας συνοπτικά (συνολικό σκορ και συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του τεστ) αλλά και αναλυτικά για κάθε μια από τις 20 απαντήσεις του τεστ. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 16), εμφανίζονται συνολικές πληροφορίες σχετικά με το συνολικό σκορ, δηλαδή το ποσοστό επιτυχίας τους και τον συνολικό χρόνο συμπλήρωσης του τεστ σε sec. Ακόμα για κάθε ερώτηση παρουσιάζεται αναλυτικά ο χρόνος απάντησης (msec), ο τρέχων χρόνος στο τεστ, η απάντηση αν είναι σωστή ή λάθος, η σωστή επιλογή και η ορθότητα της επιλογής.



Εικόνα 16: Στιγμιότυπο από την ανατροφοδότηση των συμμετεχόντων για την 18<sup>η</sup> ερώτηση.

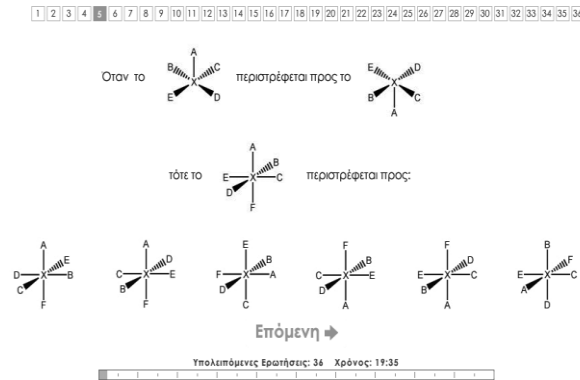
#### 4.2.2 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων

Το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», σχεδιάστηκε με σκοπό να εκτιμήσει την ικανότητα των φοιτητών να εφαρμόζουν διεργασία νοητικής περιστροφής σε δοσμένες 2D αναπαραστάσεις μοριακών δομών, με χαρακτηριστική γεωμετρία. Οι ερωτήσεις του τεστ διατυπώνονται και είναι σχεδιασμένες με την ίδια λογική με το τεστ PSVT:R. Η κάθε ερώτηση αποτελείται από τρεις γραμμές και οι συμμετέχοντες θα πρέπει να ακολουθήσουν την εξής διαδικασία προκειμένου να απαντήσουν:

- Να παρατηρήσουν πώς περιστρέφεται η 2D μοριακή δομή, που αποτελεί το αρχικό ερέθισμα, στην πρώτη γραμμή της ερώτησης
- Να απεικονίσουν στο μυαλό τους πώς θα φαίνεται η 2D μοριακή δομή διαφορετικής γεωμετρίας από το αρχικό ερέθισμα, που βρίσκεται στην μεσαία γραμμή της ερώτησης και που αποτελεί το εξεταζόμενο ερέθισμα, όταν περιστραφεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο
- Να επιλέξουν από τις έξι εναλλακτικές επιλογές που βρίσκονται στην τρίτη γραμμή της ερώτησης, αυτή που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας περιστροφής της εξεταζόμενης μοριακής δομής

Το τεστ αποτελείται από 36 ερωτήσεις (*items*) (Εικόνα 17). Στις ερωτήσεις εξετάζονται διεργασίες περιστροφής 2D μοριακών αναπαραστάσεων στικτών και έντονων γραμμών (*dash - wedge*) γύρω από έναν άξονα (μονή περιστροφή) ή δύο

διαφορετικούς άξονες (διπλή περιστροφή), του συστήματος καρτεσιανών συντεταγμένων.

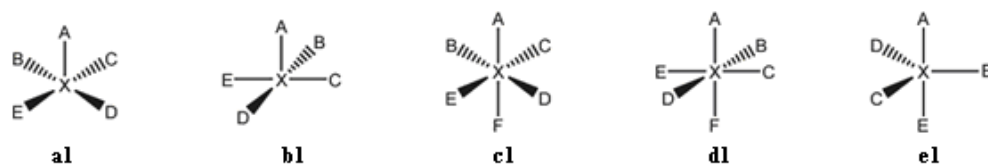


**Εικόνα 17:** Το 5<sup>ο</sup> χαρακτηριστικό ερώτημα (item) του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων»

Όπως και στο PSVT:R τεστ οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν και να απαντήσουν κάθε ερώτηση ή να την προσπεράσουν χωρίς να απαντήσουν και να επανέλθουν αργότερα. Δεν υπάρχει όμως η δυνατότητα πολλαπλών προσπαθειών και αλλαγής/τροποποίησης δοσμένης απάντησης. Σε αυτό σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι, σε κάθε προσπάθεια συμπλήρωσης του τεστ, γίνεται ανακάτεμα των εναλλακτικών απαντήσεων μέσα στις ερωτήσεις, για να διασφαλιστεί ότι δε θα «συνεργάζονται» οι φοιτητές κατά την ώρα συμπλήρωσης του τεστ.

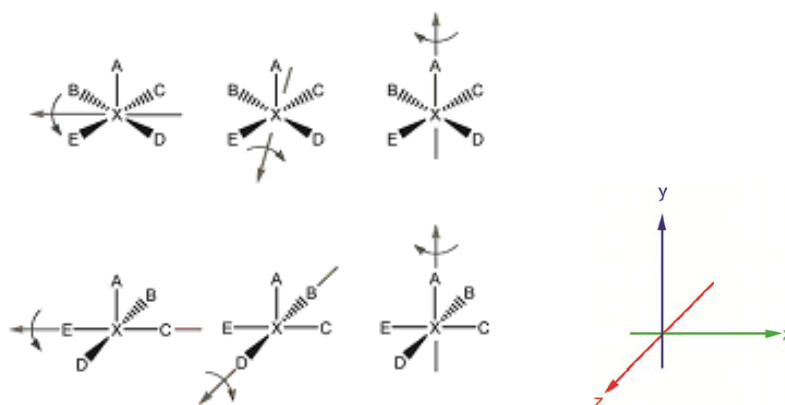
Ως οπτικά ερεθίσματα στις 36 ερωτήσεις του τεστ χρησιμοποιούνται οι πλέον διαδομένες και χρησιμοποιούμενες οπτικοποιήσεις της μοριακής δομής, δηλαδή οι μοριακές αναπαραστάσεις με στικτές και έντονες γραμμές (*dash and wedge representations*). Σε αυτούς τους δισδιάστατους (2D) μοριακούς συμβολισμούς η γεωμετρία μίας μοριακής δομής στο χώρο αποδίδεται ως εξής: Οι συνεχείς γραμμές παριστάνουν δεσμούς στο επίπεδο της σελίδας - οθόνης, οι έντονες γραμμές παριστάνουν δεσμούς που εκτείνονται έξω από το επίπεδο της σελίδας - οθόνης προς την πλευρά του παρατηρητή και οι στικτές γραμμές παριστάνουν δεσμούς που κατευθύνονται πίσω από το επίπεδο της σελίδας - οθόνης μακριά από τον παρατηρητή. Ως αρχικό ερέθισμα χρησιμοποιούνται μοριακές δομές με γεωμετρία της τετραγωνικής πυραμίδας σε δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς, ενώ ως εξεταζόμενα οπτικά ερεθίσματα εμφανίζονται μοριακές δομές με γεωμετρία του οκτάεδρου (δύο διαφορετικές προοπτικές) και της τριγωνικής διπυραμίδας. Όλες οι μοριακές διαμορφώσεις που παρουσιάζονται ως εξεταζόμενα οπτικά ερεθίσματα αλλά και ως

εναλλακτικές απαντήσεις μέσα στις ερωτήσεις του τεστ είναι αποδεκτές και προτείνονται από την IUPAC (Εικόνα 18).



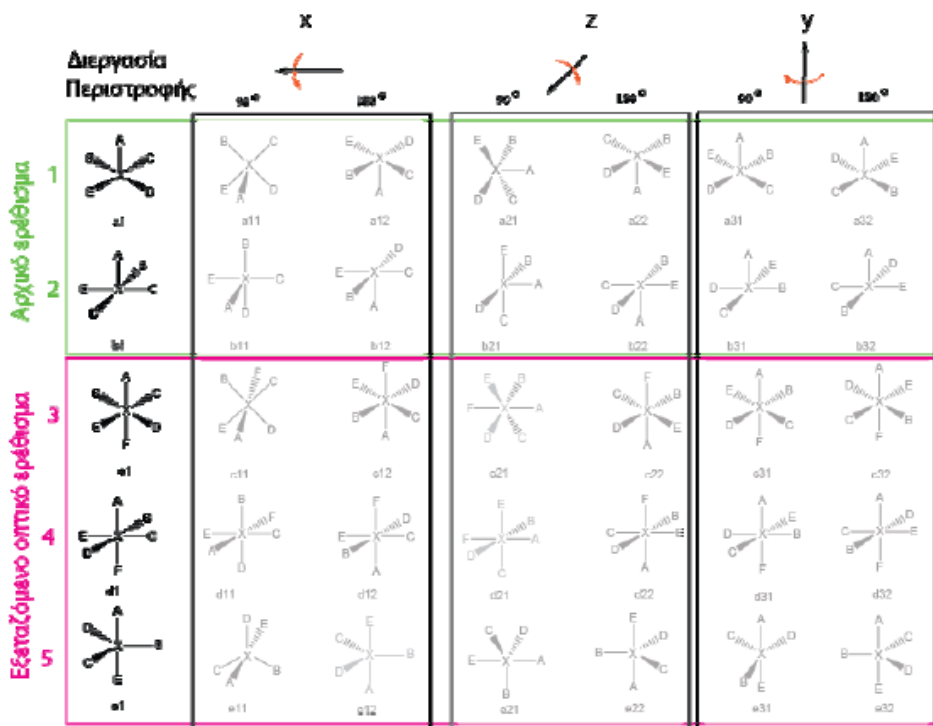
**Εικόνα 18:** Δισδιάστατες αναπαραστάσεις με στικτές και έντονες γραμμές (*dash-wedge*) μοριακών δομών με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a,b), οκταέδρου (c,d) και τριγωνικής διπυραμίδας (e).

Οι εξεταζόμενες διεργασίες περιστροφής διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς μια γωνία περιστροφής περί των αξόνων x, y, z του συστήματος καρτεσιανών συντεταγμένων. Σε κάθε έναν άξονα η περιστροφή των δισδιάστατων αντικειμένων, μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά  $90^\circ$  ή  $180^\circ$  (Εικόνα 19). Στην Εικόνα 20 φαίνονται τα οπτικά ερεθίσματα που χρησιμοποιούνται στις ερωτήσεις του τεστ καθώς και η διεργασία νοητικής περιστροφής σε κάθε περίπτωση.



**Εικόνα 19:** Εξεταζόμενες διεργασίες περιστροφής στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Περιστροφών 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και Σύστημα Καρτεσιανών Συντεταγμένων.

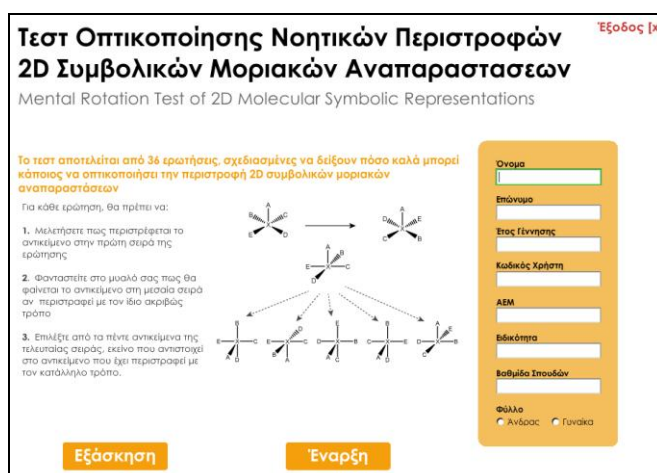
Για το τεστ αυτό σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν δύο εκδόσεις. Στην πρώτη μέρα συμπλήρωσης δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός, διότι αρχικά δεν υπήρχε η αίσθηση του απαιτούμενου χρόνου για αυτό το πρωτότυπο τεστ που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο Τμήμα Χημείας του ΑΠΘ. Ενώ στη δεύτερη έκδοση ο χρόνος ορίστηκε στα 20 λεπτά και υπήρχε αυστηρή επιβολή χρονικού περιορισμού από την ίδια την εφαρμογή (αντίστροφη μέτρηση και αυτόματη διακοπή της προσπάθειας των χρηστών από την εφαρμογή μετά το πέρας των 20 λεπτών).



Εικόνα 20: Οπτικά ερεθίσματα και διεργασία περιστροφής σε κάθε περίπτωση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων»

### Σχεδιασμός του τεστ

Όπως φαίνεται στην εικόνα με την αρχική σελίδα της εφαρμογής (Εικόνα 21), υπάρχει φόρμα όπου οι χρήστες καταχωρούν τα προσωπικά τους στοιχεία. Έχουν τη δυνατότητα να κάνουν εξάσκηση πριν από την συμπλήρωση του τεστ από την επιλογή «Εξάσκηση» της εφαρμογής. Τους δίνεται όμως και η δυνατότητα να ξεκινήσουν κατευθείαν την προσπάθειά τους στο τεστ επιλέγοντας απευθείας την επιλογή «Έναρξη» στην αρχική σελίδα.



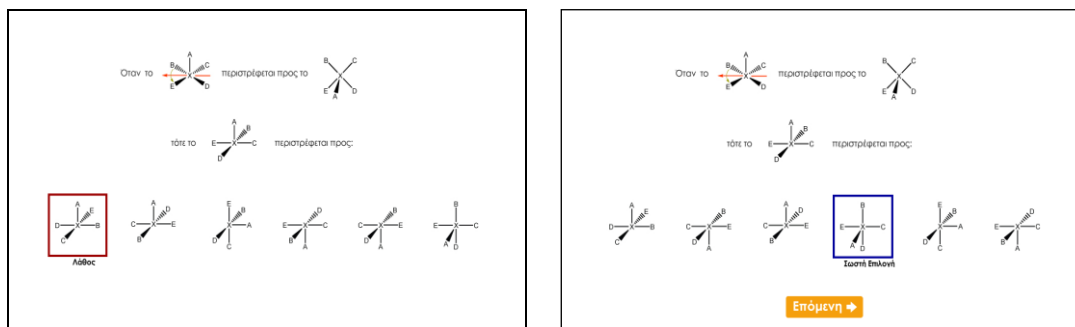
Εικόνα 21: Αρχική σελίδα της εφαρμογής «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

Στα πλαίσια της εξάσκησης μελετούν αντιπροσωπευτικές αντιστοιχίσεις παρόμοιες, όχι ίδιες, με αυτές που υπάρχουν στο τεστ και δεν μπορούν να προχωρήσουν στην επόμενη ερώτηση αν δεν απαντήσουν σωστά στην τρέχουσα. Επιπλέον σε αντίθεση με το τεστ υπάρχει άμεση ανατροφοδότηση των απαντήσεων των χρηστών, καθώς και εμφάνιση του εξεταζόμενου άξονα περιστροφής ως προς τον οποίο στράφηκε το εξεταζόμενο αντικείμενο στην πρώτη σειρά. Η ανατροφοδότηση καθοδηγεί τον συμμετέχοντα, προκειμένου να εξοικειωθεί

- με τον τρόπο που πρέπει να διαδράσει με την εφαρμογή προκειμένου να καταχωρηθούν οι απαντήσεις τους και να περάσει στην επόμενη ερώτηση (αφού μπορεί μέσα στο τεστ να προσπεράσει ερώτηση και να την δει μετά),
- με το ζητούμενο σε καθεμία ερώτηση του τεστ, δηλαδή να παρατηρήσει τη διεργασία που πραγματοποιείται στο αρχικό ερέθισμα στην πρώτη γραμμή, να εφαρμόσει την αυτή διεργασία στο εξεταζόμενο ερέθισμα της δεύτερης σειράς και να εντοπίσει ανάμεσα στις έξι διαθέσιμες 2D συμβολικές αναπαραστάσεις στην τρίτη γραμμή, εκείνη που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας στο εξεταζόμενο ερέθισμα

ώστε να συμπληρώσει το τεστ με όσο το δυνατόν λιγότερες λανθασμένες απαντήσεις.

Στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό ερώτημα της εξάσκησης.



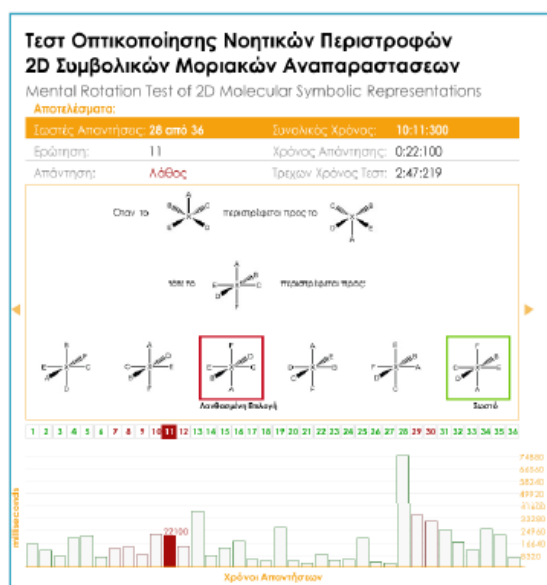
(i)

(ii)

**Εικόνα 22:** Χαρακτηριστική ερώτηση από την «Εξάσκηση» του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» όπου φαίνεται ο άξονας περιστροφής του αρχικού ερεθίσματος.

Μετά την συμπλήρωση του τεστ οι χρήστες έχουν στην διάθεσή τους εξατομικευμένα αποτελέσματα της προσπάθειάς τους (Εικόνα 23). Όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 23), εμφανίζονται συνολικές πληροφορίες σχετικά με το συνολικό σκορ, δηλαδή το ποσοστό επιτυχίας τους και τον συνολικό χρόνο συμπλήρωσης του

τεστ σε sec. Ακόμα για κάθε ερώτηση παρουσιάζεται αναλυτικά ο χρόνος απάντησης (msec), ο τρέχων χρόνος στο τεστ, η απάντηση αν είναι σωστή ή λάθος, η σωστή επιλογή και η ορθότητα της επιλογής.



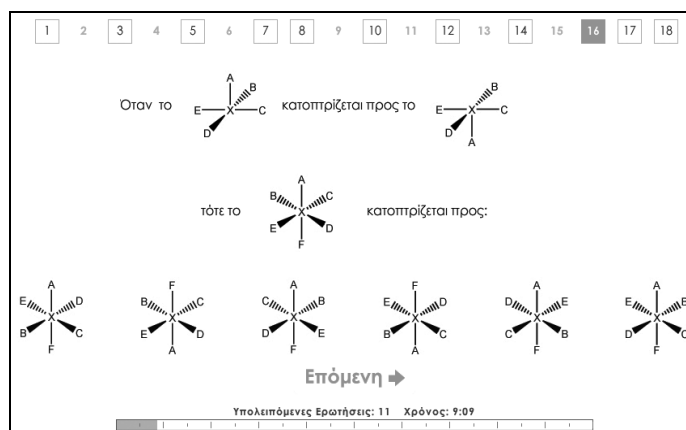
**Εικόνα 23:** Στιγμιότυπο από την ανατροφοδότηση της 11<sup>ης</sup> ερώτησης όπου παρουσιάζονται συνολικά και αναλυτικά αποτελέσματα.

### 4.2.3 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων

Η τρίτη εφαρμογή αφορά τον νοητικό κατοπτρισμό 2D συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων. Το τεστ στοχεύει στη διερεύνηση της ικανότητας των συμμετεχόντων να εφαρμόζουν διεργασία νοητικού κατοπτρισμού σε δοσμένες 2D αναπαραστάσεις μοριακών δομών, με χαρακτηριστική γεωμετρία.

Το τεστ αποτελείται από 18 ερωτήσεις (*items*) πολλαπλής επιλογής, στις οποίες εξετάζονται διεργασίες κατοπτρισμού 2D μοριακών αναπαραστάσεων στικτών και έντονων γραμμών (dash - wedge). Η σειρά με την οποία εμφανίζονται οι ερωτήσεις στους φοιτητές είναι πάντα ίδια, ενώ οι έξι δοσμένες επιλογές μέσα σε κάθε ερώτημα, εμφανίζονται σε κάθε νέα απόπειρα συμπλήρωσης του τεστ με διαφορετική σειρά. Επιπλέον οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα της επισκόπησης μίας ερώτησης του τεστ και το πέρασμα στην επόμενη, δεν έχουν όμως τη δυνατότητα πολλαπλών προσπαθειών και της αλλαγής/τροποποίησης μίας δοσμένης απάντησής τους. Ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο του τεστ παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 24).





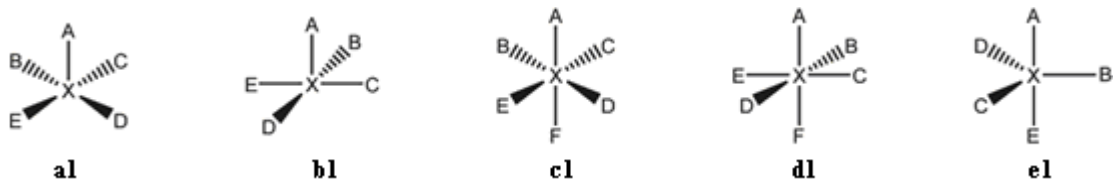
**Εικόνα 24:**Χαρακτηριστικό ερώτημα (item) του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαράστασεων».

Η κάθε ερώτηση του τεστ αποτελείται από τρεις γραμμές και οι συμμετέχοντες θα πρέπει να ακολουθήσουν την εξής διαδικασία προκειμένου να απαντήσουν:

- Να παρατηρήσουν πώς κατοπτρίζεται η 2D μοριακή δομή, που αποτελεί το αρχικό ερέθισμα, στην πρώτη γραμμή της ερώτησης.
- Να απεικονίσουν στο μυαλό τους πώς θα φαίνεται η 2D μοριακή δομή διαφορετικής γεωμετρίας από το αρχικό ερέθισμα, που βρίσκεται στην μεσαία γραμμή της ερώτησης και που αποτελεί το εξεταζόμενο ερέθισμα, όταν κατοπτριστεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.
- Να επιλέξουν από τις έξι εναλλακτικές επιλογές που βρίσκονται στην τρίτη γραμμή της ερώτησης, αυτή που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας κατοπτρισμού στην εξεταζόμενη μοριακή δομή.

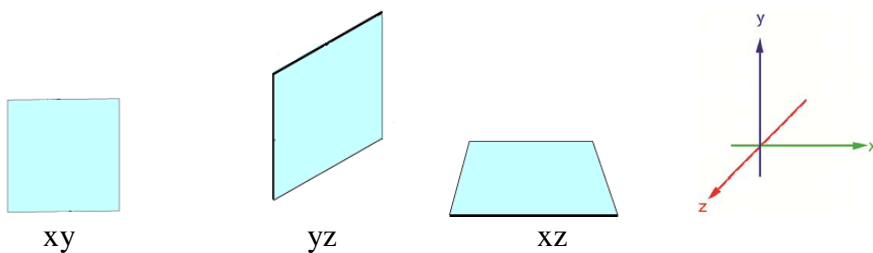
Για το τεστ αυτό σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν δύο εκδόσεις. Στην πρώτη έκδοση δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός, διότι αρχικά δεν υπήρχε η αίσθηση του απαιτούμενου χρόνου για αυτό το πρωτότυπο τεστ που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο Τμήμα Χημείας του ΑΠΘ. Στην δεύτερη έκδοση όμως επιβλήθηκε αυστηρός χρονικός περιορισμός 10 λεπτών αυτόματα από την ίδια την εφαρμογή (αντίστροφη μέτρηση και αυτόματη διακοπή της προσπάθειας των χρηστών από την εφαρμογή μετά το πέρας των 10 λεπτών).

Στις ερωτήσεις του τεστ εξετάζονται διεργασίες κατοπτρισμού 2D μοριακών αναπαράστασεων στικτών και έντονων γραμμών (dash - wedge) (Εικόνα 25).



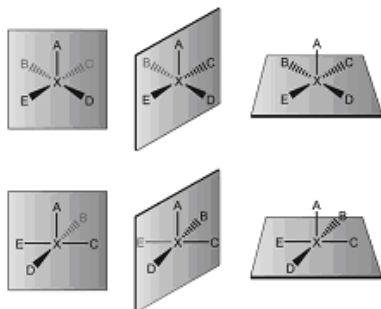
**Εικόνα 25:** Δισδιάστατες αναπαραστάσεις με σικτές και έντονες γραμμές (*dash-wedge*) μοριακών δομών με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1,b1), οκταέδρου (c1,d1) και τριγωνικής διπυραμίδας (e1).

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», εξετάζονται διεργασίες κατοπτρισμού ως προς ένα από τα επίπεδα που παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 26). Το πρώτο επίπεδο κατοπτρισμού  $xy$  είναι το επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες  $x$  και  $y$ , ή είναι το επίπεδο που κείται στο επίπεδο της οθόνης ή του χαρτιού, το δεύτερο επίπεδο κατοπτρισμού  $yz$  είναι το επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες  $y$  και  $z$  ή είναι το κατακόρυφο επίπεδο κάθετο στο επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης και τέλος το τρίτο επίπεδο κατοπτρισμού  $xz$ , είναι το επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες  $x$  και  $z$  ή είναι το οριζόντιο επίπεδο κάθετο στο επίπεδο του χαρτιού ή της οθόνης.



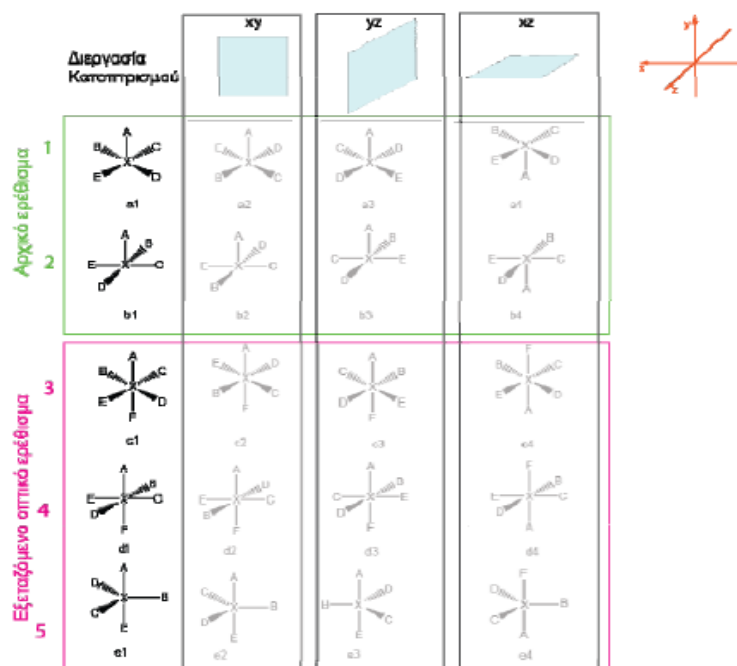
**Εικόνα 26:** Εξεταζόμενοι κατοπτρισμοί στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και Σύστημα Καρτεσιανών Συντεταγμένων.

Στην Εικόνα 27 που ακολουθεί παρουσιάζεται η διεργασία του κατοπτρισμού συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων σε κάθε ένα από τα επίπεδα κατοπτρισμού.



**Εικόνα 27:** Η διεργασία κατοπτρισμού συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων σε κάθε ένα από τα επίπεδα κατοπτρισμού.

Στην Εικόνα 28 φαίνονται τα οπτικά ερεθίσματα που χρησιμοποιούνται στις ερωτήσεις του τεστ καθώς και η διεργασία κατοπτρισμού που εξετάζεται σε κάθε περίπτωση.



**Εικόνα 28:** Οπτικά ερεθίσματα και διεργασία κατοπτρισμού σε κάθε περίπτωση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων»

### Σχεδιασμός του τεστ

Όπως φαίνεται στην εικόνα με την αρχική σελίδα της εφαρμογής (Εικόνα 29), υπάρχει φόρμα όπου οι χρήστες καταχωρούν τα προσωπικά τους στοιχεία. Έχουν τη δυνατότητα να κάνουν εξάσκηση πριν από την συμπλήρωση του τεστ από την επιλογή «Εξάσκηση» της εφαρμογής. Τους δίνεται όμως και η δυνατότητα να ξεκινήσουν κατευθείαν την προσπάθειά τους στο τεστ επιλέγοντας απευθείας την επιλογή «Έναρξη» στην αρχική σελίδα.

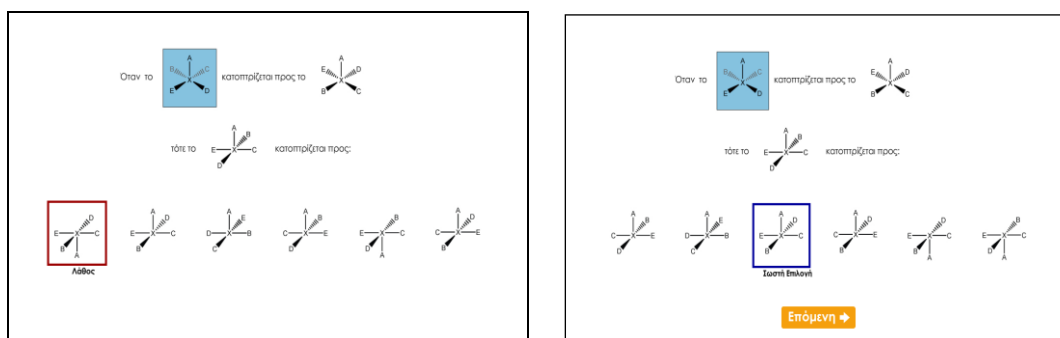


**Εικόνα 29:** Αρχική σελίδα της εφαρμογής «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

Στην εξάσκηση του τεστ υπάρχει άμεση ανατροφοδότηση από την εφαρμογή. Ο συμμετέχοντας είτε απαντήσει σωστά είτε λάθος, μπορεί να δει το επίπεδο κατοπτρισμού ως προς το οποίο πραγματοποιήθηκε η εξεταζόμενη διεργασία κατοπτρισμού. Η εξάσκηση στοχεύει στην εξοικείωση του χρήστη με:

- τον τρόπο που πρέπει να διαδράσει με την εφαρμογή προκειμένου να καταχωρηθούν οι απαντήσεις του και να περάσει στην επόμενη ερώτηση,
- το ζητούμενο σε καθεμία ερώτηση του τεστ, δηλαδή να παρατηρήσει τη διεργασία κατοπτρισμού που πραγματοποιείται στο αρχικό ερέθισμα στην πρώτη σειρά, να εφαρμόσει την ίδια διεργασία στο εξεταζόμενο ερέθισμα της δεύτερης σειράς και να εντοπίσει ανάμεσα στις έξι διαθέσιμες 2D συμβολικές αναπαραστάσεις στην τρίτη σειρά, εκείνη που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της διεργασίας κατοπτρισμού στο εξεταζόμενο ερέθισμα

ώστε να πραγματοποιήσει το τεστ με όσο το δυνατόν λιγότερες λανθασμένες απαντήσεις (Εικόνα 30).

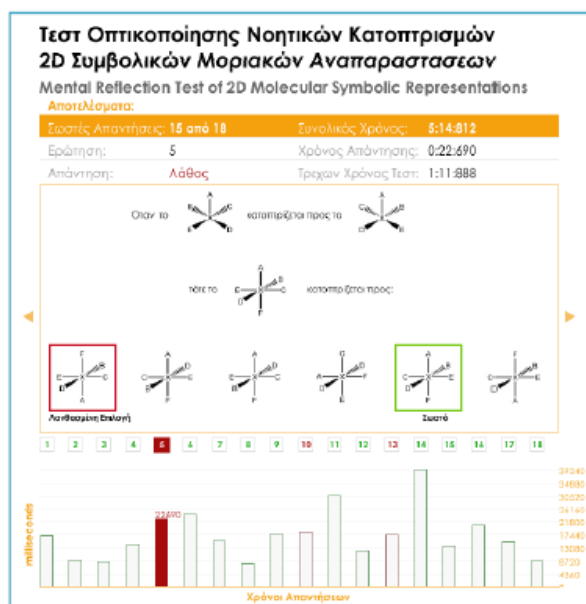


(i)

(ii)

**Εικόνα 30:** Χαρακτηριστική ερώτηση από το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» όπου υπάρχει η ανατροφοδότηση της εφαρμογής που αφορά το επίπεδο κατοπτρισμού.

Μετά την συμπλήρωση του τεστ οι χρήστες έχουν στην διάθεσή τους εξατομικευμένα αποτελέσματα της προσπάθειάς τους. Όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 31), εμφανίζονται συνολικές πληροφορίες σχετικά με το συνολικό σκορ, δηλαδή το ποσοστό επιτυχίας τους και τον συνολικό χρόνο συμπλήρωσης του τεστ σε sec. Ακόμα για κάθε ερώτηση παρουσιάζεται αναλυτικά ο χρόνος απάντησης (msec), ο τρέχων χρόνος στο τεστ, η απάντηση αν είναι σωστή ή λάθος, η σωστή επιλογή και η ορθότητα της επιλογής.



**Εικόνα 31:** Στιγμιότυπο από την ανατροφοδότηση της 4<sup>ης</sup> ερώτησης όπου παρουσιάζονται συνολικά και αναλυτικά αποτελέσματα.

### 4.3 Εφαρμογή σε Φοιτητές Χημείας

Το δείγμα της έρευνας αυτής αποτέλεσαν 37 πρωτοετείς προπτυχιακοί φοιτητές και φοιτήτριες του Τμήματος Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 29 γυναίκες και 8 άνδρες, της ακαδημαϊκής χρονιάς 2011-2012. Τα τρία τεστ δόθηκαν αρχικά σε 24 πρωτοετείς φοιτητές, οι οποίοι εφεξής σε αυτήν την εργασία θα αποκαλούνται Ομάδα I και στη συνέχεια σε μία δεύτερη συνάντηση σε άλλους 13 πρωτοετείς φοιτητές, που εφεξής θα αποκαλούνται Ομάδα II (Πίνακας 1).

Η σειρά που δόθηκαν τα τρία τεστ στους φοιτητές ήταν και στις δύο ομάδες η ίδια. Δηλαδή πρώτα δόθηκε το PSVT:R, κατόπιν το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και τέλος το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Πριν από την συμπλήρωση του κάθε τεστ από τους φοιτητές δίνονταν προφορικές οδηγίες σχετικά με τον διαθέσιμο χρόνο για την συμπλήρωσή του.

Στην Ομάδα I δόθηκαν οι εκδόσεις των τεστ χωρίς χρονικό περιορισμό, εκτός από το PSVT:R τεστ που δόθηκε και στις δύο ομάδες με χρονικό περιορισμό 10 λεπτών, όπως ακριβώς γίνεται και στο πρωτότυπο τεστ των Bodner & Guay (1977). Δηλαδή για την Ομάδα I, υπήρχε χρονομέτρηση στα τεστ, ωστόσο ο χρήστης μπορούσε να συνεχίσει την προσπάθειά του πέραν του καθορισμένου χρόνου. Από την άλλη στους συμμετέχοντες της Ομάδας II, εφαρμόστηκαν αυστηρά οι χρονικοί περιορισμοί για τη

συμπλήρωση των τριών τεστ οπτικοποίησης, καθώς μέσα στις διαδραστικές εφαρμογές στις οποίες πραγματοποιούνται τα τεστ, ενσωματώθηκαν επιπλέον λειτουργίες, όπως η αντίστροφη μέτρηση και η διακοπή της προσπάθειας του χρήστη μετά την ολοκλήρωση του διαθέσιμου χρόνου. Η συμμετοχή των φοιτητών στην έρευνα ήταν προαιρετική και από την αρχή έγινε σαφές ότι οι επιδόσεις τους στα τεστ δε θα είχαν καμιά επίπτωση στην αξιολόγηση τους σε κανένα από τα μαθήματα του προγράμματος σπουδών τους.

Οι εφαρμογές των τεστ οπτικοποίησης διέθεταν σύστημα καταγραφής των προσπαθειών των χρηστών. Συγκεκριμένα για κάθε προσπάθεια συμπλήρωσης του τεστ προέκυπτε μία αναφορά (log file) με τις επιλογές του χρήστη, την ορθότητα των επιλογών του, της σειράς εμφάνισης των εναλλακτικών επιλογών σε κάθε ερώτηση, του χρόνου επισκόπησης (msec) κάθε ερώτησης, του χρόνου επιλογής κάθε απάντησης (msec) και του τρέχοντος χρόνου επιλογής κάθε απάντησης μέσα στη διάρκεια της προσπάθειας συμπλήρωσης του τεστ.

**Πίνακας 1:** Το αρχικό δείγμα της έρευνας σε πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας

	Πλήθος Ερωτήσεων	Επιβολή χρόνου	Πλήθος φοιτητών (N)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)</b>			
Ομάδα Ι*	20	Ναι (10 λεπτά)	24
Ομάδα ΙΙ*	20	Ναι (10 λεπτά)	13
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</b>			
Ομάδα Ι	36	Όχι	24
Ομάδα ΙΙ*	36	Ναι (20λεπτά)	13
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</b>			
Ομάδα Ι	18	Όχι	24
Ομάδα ΙΙ*	18	Ναι (10λεπτά)	13

\*Αυστηρή επιβολή του διαθέσιμου χρόνου συμπλήρωσης του τεστ

Από το αρχικό δείγμα συμμετεχόντων, εξαιρέθηκαν αυτοί οι οποίοι δεν ολοκλήρωσαν τα τεστ, δηλαδή υπήρχαν ερωτήσεις στα τεστ, που δεν τις είδαν καθόλου ή που δεν τις απάντησαν. Το τελικό μας δείγμα διαμορφώνεται όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται το σύνολο των απαντημένων ερωτήσεων, ανά τεστ και ανά ομάδα, οι οποίες θα αποτελέσουν τα δεδομένα της έρευνάς μας, για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

**Πίνακας 2:** Το τελικό δείγμα της έρευνας σε πρωτοετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας

	Συμπληρωμένα τεστ N	Δοσμένες απαντήσεις στα N τεστ (%)	Ολοκληρωμένα τεστ n (%)	Δοσμένες απαντήσεις στα n τεστ (%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PSVT:R) (Ερωτήσεις: 20, Χρόνος: 10λεπτά)</b>				
Ομάδα Ι*	24	260 (54,17%)	13 (54,17%)	260 (100%)
Ομάδα ΙΙ*	13	160 (61,54%)	8 (61,54%)	160 (100%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων (Ερωτήσεις:36, Χρόνος: 20λεπτά)</b>				
Ομάδα Ι	24	864 (100%)	24 (100%)	864 (100%)
Ομάδα ΙΙ*	13	324 (69,23%)	9 (69,23%)	324 (100%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων (Ερωτήσεις: 18, Χρόνος: 10λεπτά)</b>				
Ομάδα Ι	24	432 (100%)	24 (100%)	432 (100%)
Ομάδα ΙΙ*	13	234 (100%)	13 (100%)	234 (100%)

\*Αυστηρή επιβολή του διαθέσιμου χρόνου συμπλήρωσης του τεστ

Ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 3) παρουσιάζει στο σύνολο των απαντήσεων ανά τεστ και ανά ομάδα συμμετεχόντων, το ποσοστό επί τοις εκατό των σωστών απαντήσεων, των λάθος απαντήσεων, καθώς και το ποσοστό των ερωτήσεων που δεν είδαν και δεν απάντησαν οι συμμετέχοντες.

**Πίνακας 3:** Συνολικός αριθμός (%) απαντήσεων των N συμμετεχόντων (ή συμπληρωμένων τεστ) ανά τεστ και ανά Ομάδα φοιτητών

	Σύνολο ερωτήσεων	Ερωτήσεις με σωστές απαντήσεις (%)	Ερωτήσεις με λάθος απαντήσεις (%)	Ερωτήσεις χωρίς απάντηση (%)	Ερωτήσεις που δεν είδαν (%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R) (Ερωτήσεις: 20)</b>					
Ομάδα Ι*	<b>480 (24x20)</b>	257 (53,5%)	172 (35,8%)	31(6,46%)	20 (4,17%)
Ομάδα ΙΙ*	<b>260 (13x20)</b>	140 (53,9%)	103 (39,6%)	11 (4,23%)	6 (2,31%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Περιστροφών 2D Μοριακών Αναπαραστάσεων (Ερωτήσεις: 36)</b>					
Ομάδα Ι	<b>864 (24x36)</b>	690 (79,9%)	173 (20,0%)	0 (0,0 %)	0 (0,0%)
Ομάδα ΙΙ*	<b>324 (13x36)</b>	265 (81,8%)	45 (13,9%)	5 (1,5%)	9 (2,8%)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Κατοπτρισμών 2D Μοριακών Αναπαραστάσεων (Ερωτήσεις: 18)</b>					
Ομάδα Ι	<b>432 (24x18)</b>	296 (68,5%)	136 (31,5%)	0 (0,0 %)	0 (0,0%)
Ομάδα ΙΙ*	<b>234 (13x18)</b>	178 (76,1%)	56(24,9%)	0 (0,0 %)	0 (0,0%)

\*Αυστηρή επιβολή του διαθέσιμου χρόνου συμπλήρωσης του τεστ

Στον παρακάτω Πίνακα 4 υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τη μέση βαθμολογία των φοιτητών των Ομάδων Ι και ΙΙ, σε δύο προπτυχιακά μαθήματα του πρώτου έτους σπουδών στο Τμήμα Χημείας, την «Αναλυτική Χημεία» και τη «Γενική Ανόργανη Χημεία». Το μάθημα της «Αναλυτικής Χημείας» δε σχετίζεται άμεσα με την

τριδιάστατη οπτικοποίηση της μοριακής δομής, ενώ το μάθημα της «Γενικής Ανόργανης Χημείας» εξετάζει έννοιες που σχετίζονται με τη μοριακή δομή. Στην βιβλιογραφία σε αρκετές έρευνες αναφέρεται ότι υπάρχει θετική συσχέτιση ανάμεσα στην οπτικοχωρική ικανότητα και στις επιδόσεις των μαθητευόμενων, σε μαθήματα Χημείας.

**Πίνακας 4:** Μέση βαθμολογία των φοιτητών στα μαθήματα «Αναλυτικής» και «Γενικής» Χημείας.

<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PSVT:R)</b>						
<b>Ομάδα συμ/χόντων</b>	<b>Πλήθος Συμ/χόντων (N)</b>	<b>Αναλυτική Χημεία Mean (S.D.)</b>	<b>Γενική Χημεία Mean (S.D.)</b>	<b>Πλήθος συμ/ζώντων με ολοκληρωμένα τεστ (n)</b>	<b>Αναλυτική Χημεία Mean (S.D.)</b>	<b>Γενική Χημεία Mean (S.D.)</b>
Ομάδα Ι*	24	2,96(2,23)	5,67(3,1)	13	3,62(2,3)	6,85(2,5)
Ομάδα ΙΙ*	13	3,31(3,1)	5,85(2,3)	8	3(3,4)	5,63(2,6)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</b>						
Ομάδα Ι	24	2,96(2,3)	5,67(3,1)	24	2,96(2,29)	5,67(3,1)
Ομάδα ΙΙ*	13	3,31(3,1)	5,85(2,3)	9	3,22(3,35)	6,67(1,4)
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</b>						
Ομάδα Ι	24	2,96(2,3)	5,67(3,1)	24	2,96(2,3)	5,67(3,1)
Ομάδα ΙΙ*	13	3,31(3,1)	5,85(2,3)	13	3,31(3,1)	5,85(2,3)

\*Αυστηρή επιβολή του διαθέσιμου χρόνου συμπλήρωσης του τεστ



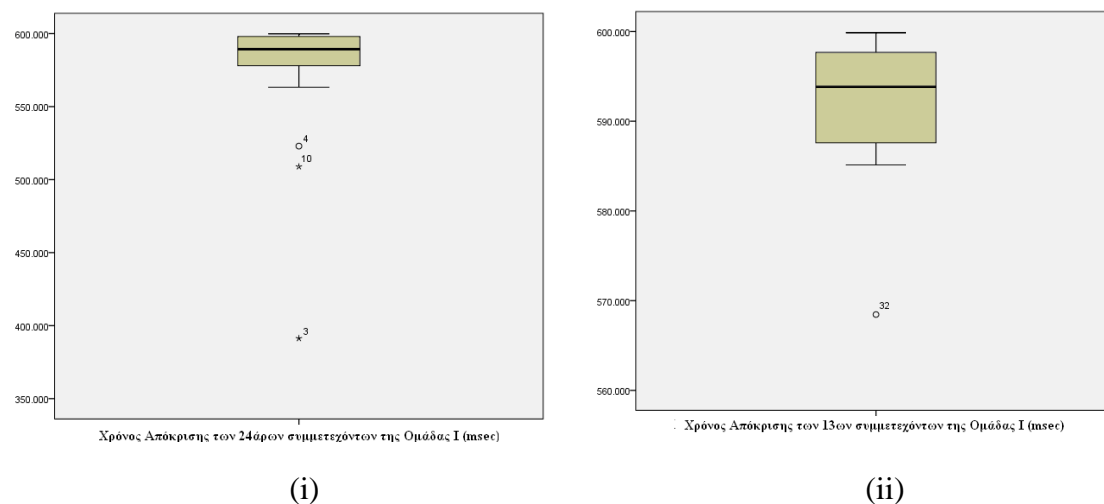
## 5. Αποτελέσματα

Τα ποιοτικά και τα ποσοτικά δεδομένα της παρούσας έρευνας παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα ανά ομάδα, δηλαδή Ομάδα I και Ομάδα II, και σε κατηγορίες των εξεταζόμενων οπτικών ερεθισμάτων για το κάθε τεστ ξεχωριστά.

### 5.1 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)

#### 5.1.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

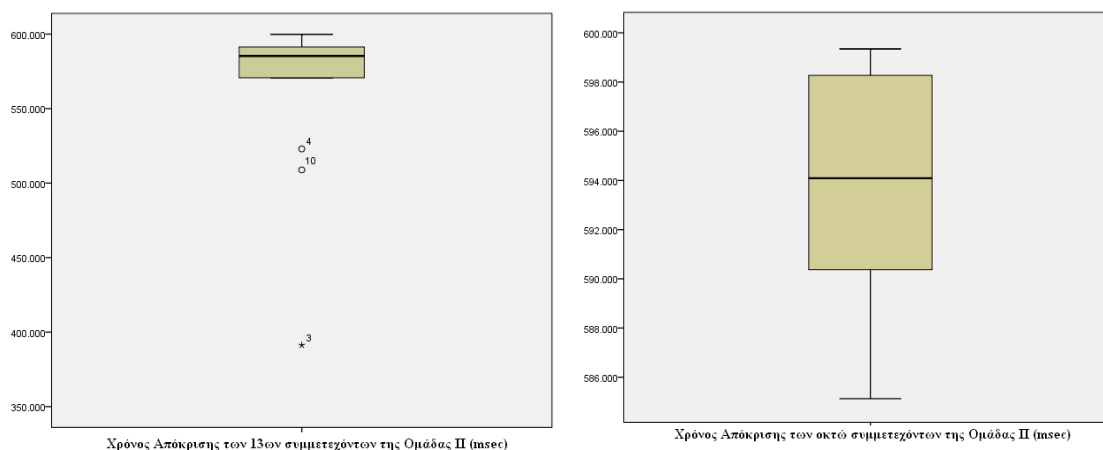
Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 32) παρουσιάζει τα θηκογράμματα του συνολικού χρόνου συμπλήρωσης του τεστ, για τους 24 συμμετέχοντες (αρχικό δείγμα) και τους 13 συμμετέχοντες (τελικό δείγμα) της Ομάδας I. Παρατηρείται ότι η κατανομή των χρόνων των 24 συμμετεχόντων είναι πιο συμμετρική από των 13 συμμετεχόντων. Επίσης στην κατανομή των 24 συμμετεχόντων εμφανίζονται περισσότερες παράτυπες τιμές από ότι στην κατανομή των 13 συμμετεχόντων. Τέλος το εύρος της διακύμανσης είναι και στις δύο κατανομές σχεδόν το ίδιο συμπεριλαμβανομένων και των παράτυπων τιμών.



**Εικόνα 32:** Θηκογράμματα για την κατανομή των χρόνων απόκρισης των 24 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) (i) και των 13 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) (ii) της Ομάδας I.

Τα αντίστοιχα θηκογράμματα των συνολικών χρόνων για τους 13 συμμετέχοντες (αρχικό δείγμα) και τους 8 συμμετέχοντες (τελικό δείγμα) της Ομάδας II, παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 33). Εκεί παρατηρείται ότι το θηκογράμμα των χρόνων των 13 συμμετεχόντων, εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία σε μικρό βαθμό, αρκετές παράτυπες τιμές και αρκετά μεγάλο εύρος τιμών, συμπεριλαμβανομένων και των παράτυπων τιμών. Αντίθετα το θηκογράμμα των

χρόνων των 8 συμμετεχόντων, εμφανίζει θετική ασυμμετρία, όπου ο βαθμός της είναι αρκετά μεγάλος, δεν εμφανίζει καθόλου παράτυπες τιμές και όσο αφορά το εύρος των τιμών είναι μικρότερο από το εύρος τιμών των χρόνων των 13 συμμετεχόντων.



(i)

(ii)

**Εικόνα 33:** Θηκογράμματα των συνολικών χρόνων των 13 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) (i) και των 8 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) (ii) της Ομάδας II.

### 5.1.2 Ανάλυση και διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης

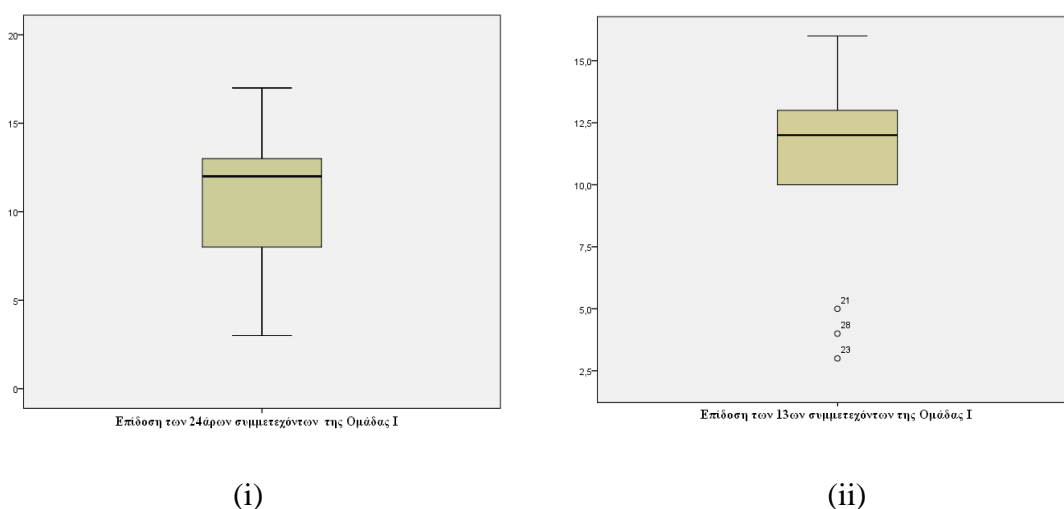
Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5), παρουσιάζεται ο μέσος συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του τεστ από τους συμμετέχοντες της κάθε ομάδας. Αυτό που φαίνεται από τα στοιχεία του πίνακα είναι, ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας I, αν και η ενημέρωσή τους όσο αφορά την χρονική διάρκεια του τεστ ήταν μόνο προφορική, εμφανίζουν μικρότερο μέσο χρόνο συμπλήρωσης του τεστ από την Ομάδα II. Μάλλον φαίνεται ότι απαντούσαν πιο γρήγορα και πιο άμεσα στις ερωτήσεις του τεστ. Μάλιστα, θα πρέπει να σημειώσουμε το γεγονός, ότι κανένας συμμετέχοντας και από τις δύο ομάδες, δεν ξεπέρασε το χρόνο των 10 λεπτών (χρόνος διεξαγωγής του τεστ).

**Πίνακας 5:** Μέσος χρόνος απόκρισης σε λεπτά στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)» για κάθε ομάδα συμμετεχόντων.

<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)</i>			
	<b>Πλήθος ολοκ/νων τεστ (n)</b>	<b>Μέσος Χρόνος (Mean Time) (min)</b>	<b>Std Error</b>
Ομάδα I (N=24)	13	9,36	0,97
Ομάδα II (N=13)	8	9,90	0,09

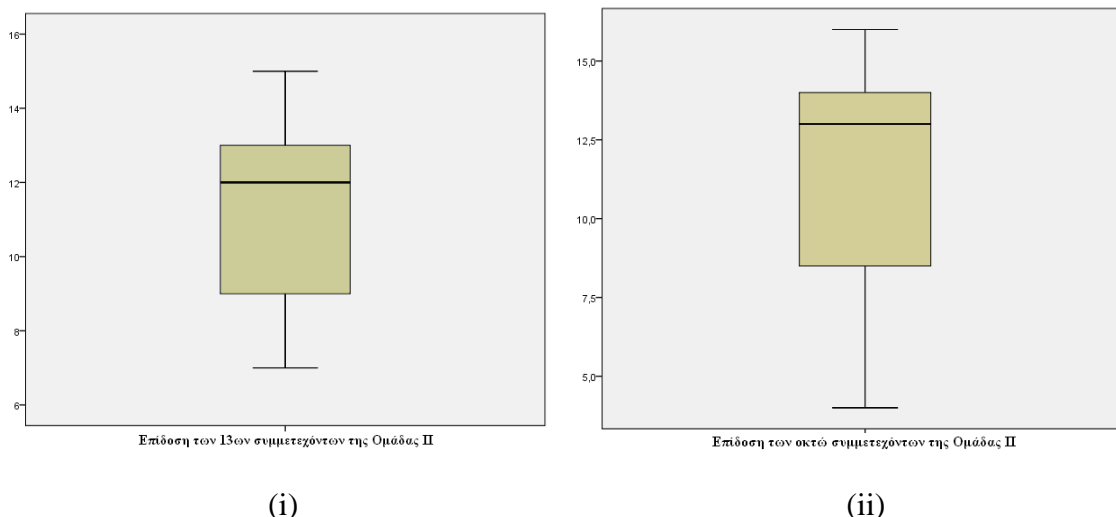
### 5.1.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)», για τους 24 συμμετέχοντες, οι οποίοι συμπλήρωσαν το τεστ την πρώτη μέρα και για τους 13 συμμετέχοντες που τελικά ολοκλήρωσαν το τεστ χωρίς να εμφανίζουν ερωτήσεις που δεν είδαν ή δεν απάντησαν. Παρατηρείται από την μορφή του θηκογράμματος των 24 συμμετεχόντων ότι η κατανομή είναι ασύμμετρη και μάλιστα εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία. Δεν εμφανίζονται παράτυπα σημεία, ενώ το εύρος της διακύμανσης είναι σχετικά μεγάλο. Αντίθετα στο θηκόγραμμα των 13 συμμετεχόντων, παρατηρούμε ότι εμφανίζονται παράτυπα σημεία. Η κατανομή όμως εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία και φαίνεται ότι το εύρος της διακύμανσης είναι ελαφρώς μικρότερο από το εύρος της διακύμανσης των 24 συμμετεχόντων.



**Εικόνα 34:** Θηκογράμματα για την κατανομή της επίδοσης των 24 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) (i) και των 13 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) (ii) της Ομάδας I.

Αντίστοιχα η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 35) δίνει πληροφορίες για τη διακύμανση των επιδόσεων των συμμετεχόντων της δεύτερης ημέρας εφαρμογής του τεστ. Από ότι παρατηρείται στο θηκόγραμμα της επίδοσης που αφορά τους 13 συμμετέχοντες, όπως ήταν το αρχικό μας δείγμα, η κατανομή εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία, χωρίς παράτυπες τιμές και το εύρος τιμών είναι αρκετά μεγάλο. Για τους 8 συμμετέχοντες, που αποτελούν το τελικό μας δείγμα, η κατανομή εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία, χωρίς παράτυπες τιμές και εύρος τιμών περίπου το ίδιο με του αρχικού δείγματος.



**Εικόνα 35:** Θηκογράμματα για την κατανομή της επίδοσης των 13 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) (i) και των 8 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) (ii) της Ομάδας II.

#### 5.1.4 Ανάλυση και διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης

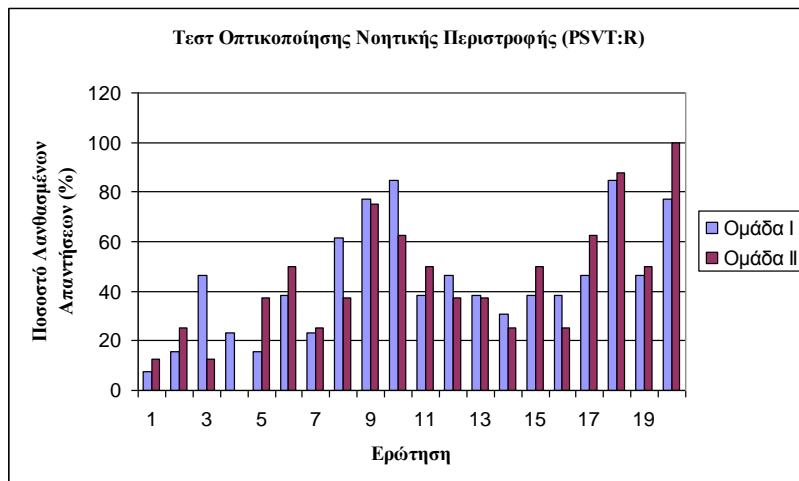
Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η μέση επίδοση (ή σκορ που επέτυχαν) στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PSVT:R)», για κάθε ομάδα συμμετεχόντων. Αυτό που παρατηρούμε είναι, ότι η μέση επίδοση είναι μεγαλύτερη για την Ομάδα II.

**Πίνακας 6:** Μέση επίδοση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PVRT:R)» για κάθε ομάδα συμμετεχόντων.

<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PSVT:R)</i>			
	<b>Πλήθος ολοκ/νων τεστ (n)</b>	<b>Μέση Επίδοση Mean</b>	<b>Std Error</b>
Ομάδα I (N=24)	13	11,3	2,6
Ομάδα II (N=13)	8	11,4	4,4

#### 5.1.5 Ανάλυση και διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 1) παρουσιάζεται με διαγραμματικό τρόπο το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση για τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 8 της Ομάδας II στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής, (PSVT:R)». Φαίνεται πως υπάρχουν ερωτήσεις με αρκετά αυξημένο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες, αλλά και με αρκετά χαμηλό ποσοστό.



**Διάγραμμα 1:** Ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση για τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 8 της Ομάδας II.

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται το πλήθος των λανθασμένων απαντήσεων και το αντίστοιχο ποσοστό (%) σε κάθε μια από τις 20 ερωτήσεις του τεστ για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II.

**Πίνακας 7:** Πλήθος και Ποσοστό Λανθασμένων Απαντήσεων για κάθε μια από τις 20 ερωτήσεις του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)» ανά ομάδα συμμετεχόντων

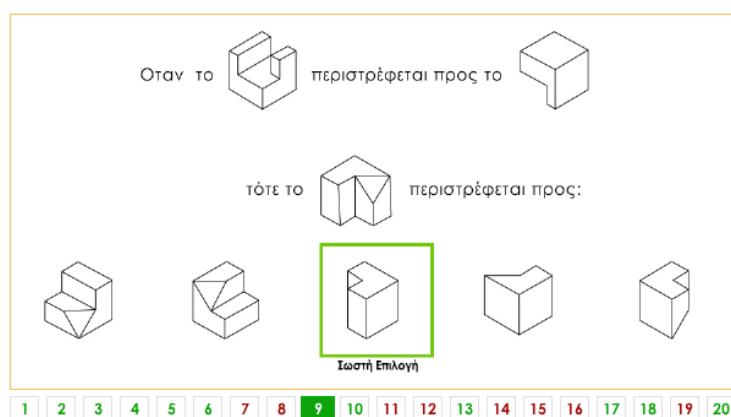
Ερώτηση	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	5 <sup>η</sup>	6 <sup>η</sup>	7 <sup>η</sup>	8 <sup>η</sup>	9 <sup>η</sup>	10 <sup>η</sup>
<b>Ομάδα I (n=13)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	1 (7,7%)	2 (15,4%)	6 (46,2%)	3 (23,1%)	2 (15,4%)	5 (38,5%)	3 (23,1%)	8 (61,5%)	10 (76,9%)	11 (84,6%)
<b>Ομάδα II (n=8)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	1 (12,5%)	2 (25%)	1 (12,5%)	0 (0,0%)	3 (37,5%)	4 (50,0%)	2 (25,0%)	3 (37,5%)	6 (75,0%)	5 (62,5%)
Ερώτηση	11 <sup>η</sup>	12 <sup>η</sup>	13 <sup>η</sup>	14 <sup>η</sup>	15 <sup>η</sup>	16 <sup>η</sup>	17 <sup>η</sup>	18 <sup>η</sup>	19 <sup>η</sup>	20 <sup>η</sup>
<b>Ομάδα I (n=13)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	5 (38,5%)	6 (46,2%)	5 (38,5%)	4 (30,8%)	5 (38,5%)	5 (38,5%)	6 (46,2%)	11 (84,6%)	6 (46,2%)	10 (76,9%)
<b>Ομάδα II (n=8)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	4 (50,0%)	3 (37,5%)	3 (37,5%)	2 (25,0%)	4 (50,0%)	2 (25,0%)	5 (62,5%)	7 (87,5%)	4 (50,0%)	8 (100%)

Αυτό που παρατηρείται, είναι ότι υπάρχουν ερωτήσεις με αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες. Τέτοιες ερωτήσεις είναι η 9<sup>η</sup>, η 10<sup>η</sup>, η 18<sup>η</sup> και η 20<sup>η</sup>, με την 10<sup>η</sup> και την 18<sup>η</sup> να εμφανίζουν το υψηλότερο ποσοστό, όσο αφορά την Ομάδα I, ενώ η 18<sup>η</sup> και η 20<sup>η</sup> εμφανίζουν το υψηλότερο ποσοστό όσο αφορά την Ομάδα II. Αντίθετα η 1<sup>η</sup>, η 2<sup>η</sup>, η 4<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup> και η 7<sup>η</sup> ερώτηση, εμφανίζουν αρκετά μικρό ποσοστό λαθών, για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I.

Αλλά και στην Ομάδα II, τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια, μόνο που σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζονται περισσότερες απαντήσεις με μικρό πλήθος άρα και ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουμε παρατηρώντας και το Διάγραμμα 1. Ας σημειωθεί ότι οι ερωτήσεις από ένα έως δέκα αφορούν περιστροφές γύρω από έναν άξονα, ενώ οι υπόλοιπες αφορούν περιστροφές γύρω από δύο άξονες.






*Ανάλυση των ερωτήσεων από 1 έως 10 που αφορούν απλή περιστροφή γύρω από έναν άξονα και εμφανίζουν υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων από τους φοιτητές στις Ομάδες I και II.*

Η 9<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Εικόνα 36) και στις δύο ομάδες (Ομάδα I: 76,9%, Ομάδα II: 75,0%). Από την πρώτη σειρά φαίνεται ότι η νοητική διεργασία που εξετάζεται είναι περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά γωνία 180°. Επίσης από το στιγμιότυπο της 9<sup>ης</sup> ερώτησης φαίνεται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα μοιάζουν να είναι δύο αντικείμενα τοποθετημένα με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο. Επιπλέον το εξεταζόμενο ερέθισμα στη δεύτερη σειρά της ερώτησης είναι ένα αντικείμενο που έχει περισσότερες ακμές από ότι έχει το αρχικό δοσμένο αντικείμενο.

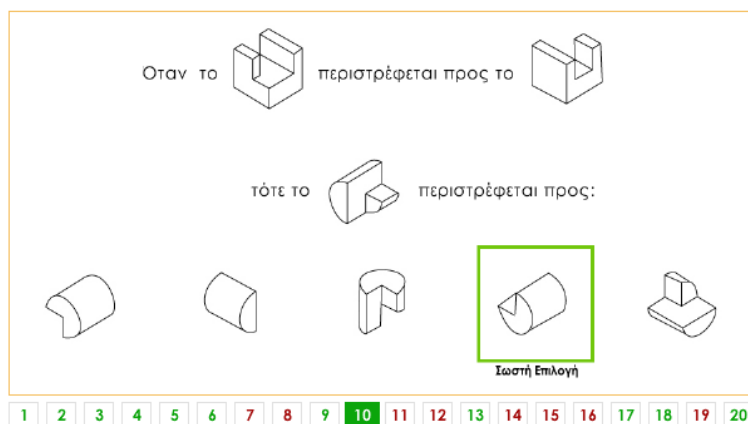


**Εικόνα 36:** Στιγμιότυπο από την 9<sup>η</sup> ερώτηση του τεστ όπου εξετάζεται μια διεργασία περιστροφής περί τον άξονα z κατά 180°.

Από μία περαιτέρω διερεύνηση των απαντήσεων των φοιτητών προκύπτει ότι στην πλειοψηφία τους και από τις δύο ομάδες επιλέγουν λανθασμένα το αντικείμενο που στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο εμφανίζεται τέταρτο ανάμεσα στις πέντε εναλλακτικές επιλογές αντί το τρίτο αντικείμενο που αποτελεί την σωστή απάντηση της ερώτησης (Πίνακας 8).

<b>Πίνακας 8:</b> Ανάλυση των απαντήσεων των Ομάδων I και II στην 9 <sup>η</sup> ερώτηση.						
<b>Ερώτηση 9<sup>η</sup></b>						
<b>Εναλλακτικές απαντήσεις στην 9<sup>η</sup> ερώτηση</b>						<b>Σύνολο απαντήσεων</b>
<b>Θέση εναλλακτικής απάντησης της 9<sup>ης</sup> ερώτησης</b>	1	2	<b>3 (Σωστή)</b>	4	5	
<b>Ομάδα I (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)</b>	1 (7,7%)	0 (0,0%)	<b>2 (15,4%)</b>	7 (53,8%)	2 (15,4%)	13 (100%)
<b>Ομάδα II (n = 8) Συχνότητα επιλογής (%)</b>	1 (12,5%)	0 (0,0%)	<b>2 (25,0%)</b>	4 (50,0%)	1 (12,5%)	8 (100%)

Η επόμενη ερώτηση, που εμφανίζει και το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, είναι η 10<sup>η</sup> ερώτηση (ποσοστό λαθών 84,6%), στην οποία εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180°. Από το στιγμιότυπο της ερώτησης (Εικόνα 37) φαίνεται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα διαφέρουν ως προς τη δομή τους, μια και το εξεταζόμενο ερέθισμα εμφανίζεται πιο σύνθετο από το αρχικό. Έχει περισσότερες καμπύλες, όπως και προεξοχές και θυμίζει περισσότερο κύλινδρο, παρά κύβο όπως το αρχικό ερέθισμα. Ακόμα από την Εικόνα 37 φαίνεται ότι ο προσανατολισμός στον χώρο των δύο ερεθισμάτων, του αρχικού και του εξεταζόμενου ερεθίσματος είναι διαφορετικός.



Εικόνα 37: Στιγμιότυπο της 10<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180°.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται η κατανομή των απαντήσεων μέσα στις πέντε εναλλακτικές απαντήσεις της 10<sup>ης</sup> ερώτησης.

Πίνακας 9: Ανάλυση των απαντήσεων των Ομάδων I και II στην 10 <sup>η</sup> ερώτηση.						
Ερώτηση 10 <sup>η</sup>						
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 10 <sup>η</sup> ερώτηση						Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 10 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	3	<b>4 (Σωστή)</b>	5	
Ομάδα I (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	7 (53,8%)	3 (23,1%)	0 (0,0%)	<b>1 (7,7%)</b>	2 (15,4%)	13 (100%)
Ομάδα II (n = 8) Συχνότητα επιλογής (%)	2 (25,0%)	1 (12,5%)	0 (0,0%)	<b>3 (37,5%)</b>	2 (25,0%)	8 (100%)

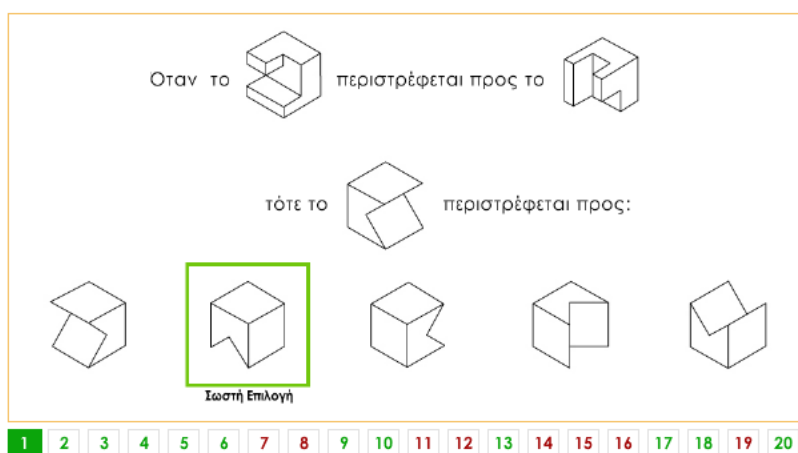
Από τον πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι περισσότεροι συμμετέχοντες της Ομάδας I επέλεξαν ως σωστή απάντηση την επιλογή που εμφανίζεται στην πρώτη θέση ανάμεσα στις πέντε επιλογές του συγκεκριμένου στιγμιότυπου της ερώτησης. Οι επιλογές που βρίσκονται στην πρώτη και στην τέταρτη θέση, δε διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, αφού με περιστροφή 90° γύρω από τον άξονα z μπορεί να προκύψει η



πρώτη από την τέταρτη. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες βρήκαν τον σωστό προσανατολισμό του αντικειμένου, αλλά δεν βρήκαν τη σωστή θέση στην οποία θα έπρεπε να ήταν στραμμένο. Επίσης κανένας συμμετέχοντας δεν επέλεξε την επιλογή στην τρίτη θέση.

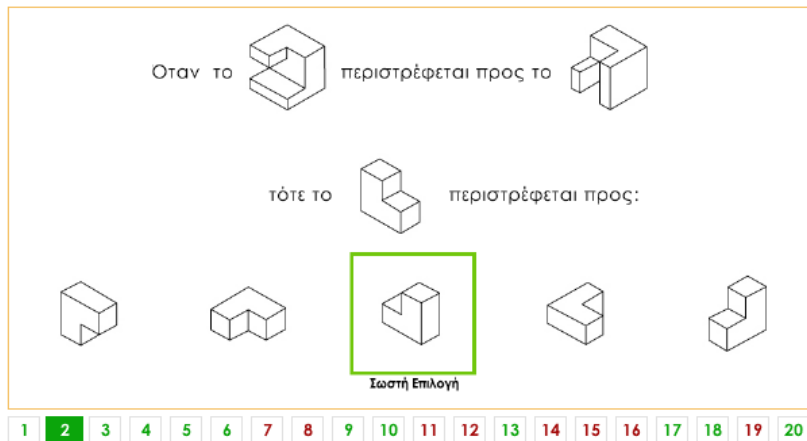
Στους συμμετέχοντες της Ομάδας II, το μεγαλύτερο ποσοστό των συμμετεχόντων απάντησαν λάθος στην 10<sup>η</sup> ερώτηση (ποσοστό λαθών 62,5%). Παρατηρείται όμως ότι, αρκετοί συμμετέχοντες επέλεξαν την τέταρτη επιλογή που είναι η σωστή, αλλά επίσης αρκετοί επέλεξαν την πρώτη, που μοιάζει αρκετά με τη σωστή. Ομοίως με τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, κανένας συμμετέχοντας της Ομάδας II, δεν επέλεξε την τρίτη επιλογή, ενώ αρκετοί επέλεξαν την πέμπτη επιλογή.

Στον Πίνακα 7 φαίνεται ότι οι ερωτήσεις 1,2,4,5,7 εμφανίζουν πολύ χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Από το στιγμιότυπο της 1<sup>ης</sup> ερώτησης (ποσοστό λαθών 7,7%) (Εικόνα 38) παρατηρείται ότι εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90°. Το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα φαίνεται να είναι αντικείμενα με παρόμοια δομή (μοιάζουν με κύβο), αλλά με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο.



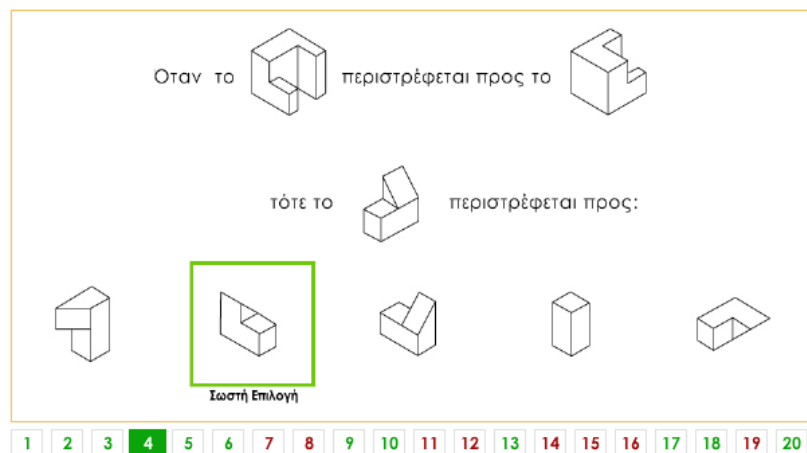
**Εικόνα 38:** Στιγμιότυπο της 1<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90°.

Στη 2<sup>η</sup> ερώτηση (ποσοστό λαθών 15,4%) εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90° (Εικόνα 39). Επιπλέον το εξεταζόμενο ερέθισμα φαίνεται να είναι αντικείμενο με απλό σχήμα, χωρίς πολλές ακμές και προεξοχές, αλλά με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο από το αρχικό ερέθισμα.



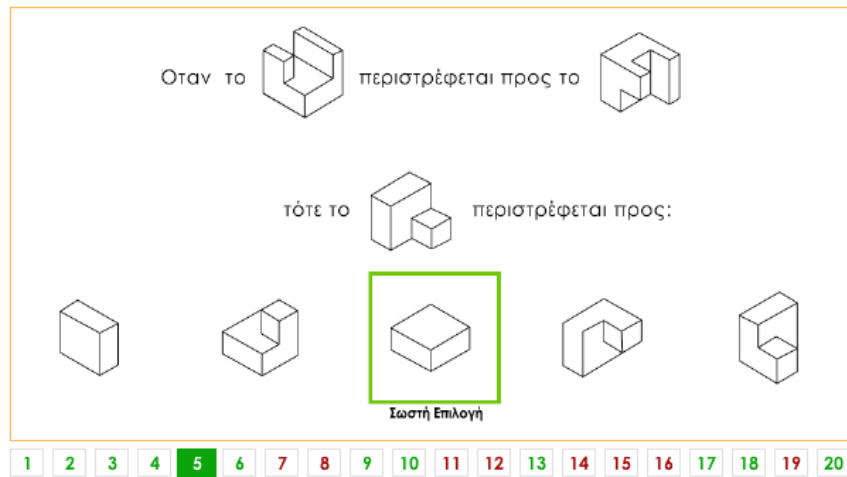
**Εικόνα 39:** Στιγμιότυπο της 2<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90°.

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 4<sup>ης</sup> ερώτησης (ποσοστό λαθών 23,1%), όπου εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 90°. Ακόμα φαίνεται πως το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι ένα αντικείμενο με απλό σχήμα, χωρίς πολλές ακμές και κορυφές και με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο από το αρχικό ερέθισμα.



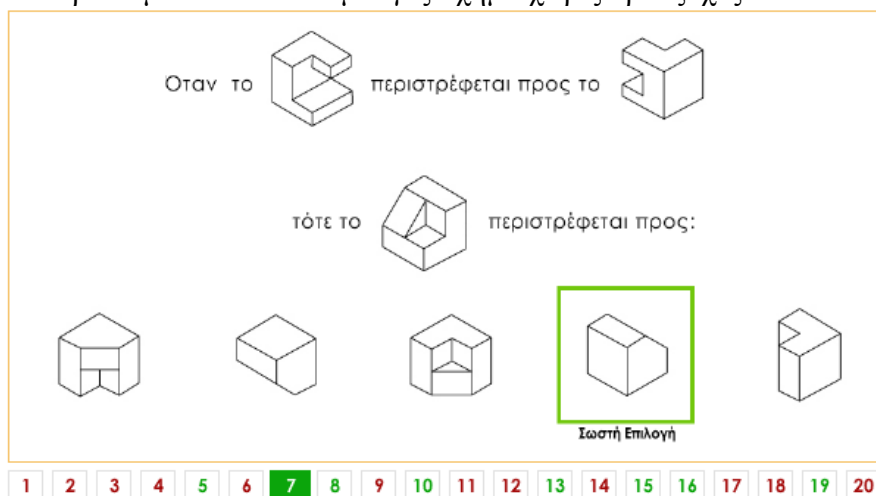
**Εικόνα 40:** Στιγμιότυπο της 4<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 90°.

Στην Εικόνα 41 φαίνεται το στιγμιότυπο της 5<sup>ης</sup> ερώτησης (ποσοστό λαθών 15,4%), όπου εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90°. Επιπλέον το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν παρόμοια δομή, αλλά διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό τους στο χώρο.



**Εικόνα 41:** Στιγμιότυπο της 5<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά 90°.

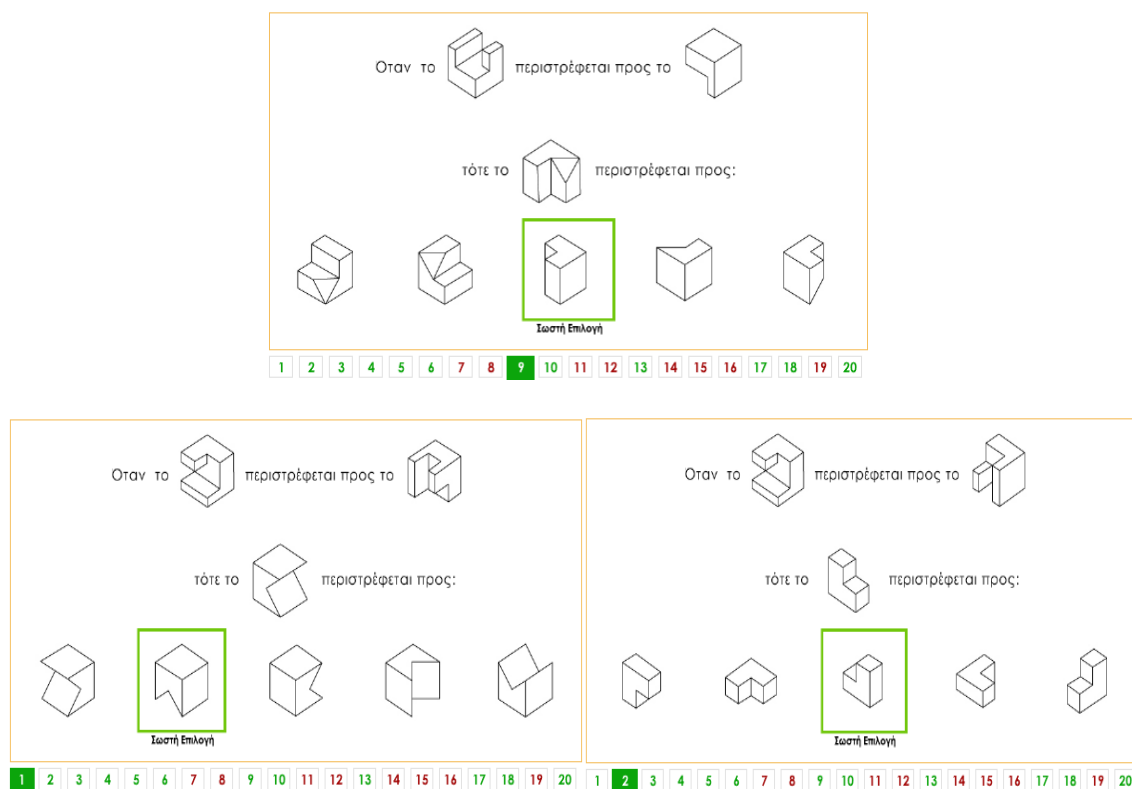
Τέλος στην 7<sup>η</sup> ερώτηση (ποσοστό λαθών 23,1%), εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180°, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 42). Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα δεν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο, αλλά και τα δύο είναι παρόμοια αντικείμενα ως προς τη δομή τους (μοιάζουν με κύβο). Επιπλέον το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι ένα συμπαγές σχήμα χωρίς προεξοχές.



**Εικόνα 42:** Στιγμιότυπο της 7<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180°.

Οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν τα λιγότερα λάθη στην 4<sup>η</sup> ερώτηση, όπου όλοι απάντησαν σωστά (ποσοστό λαθών 0%), καθώς και στην 1<sup>η</sup> και την 3<sup>η</sup> ερώτηση (ποσοστό λαθών 12,5%), όπου μόνο ένας συμμετέχοντας έκανε λάθος. Η 3<sup>η</sup> ερώτηση εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα x κατά 90°,

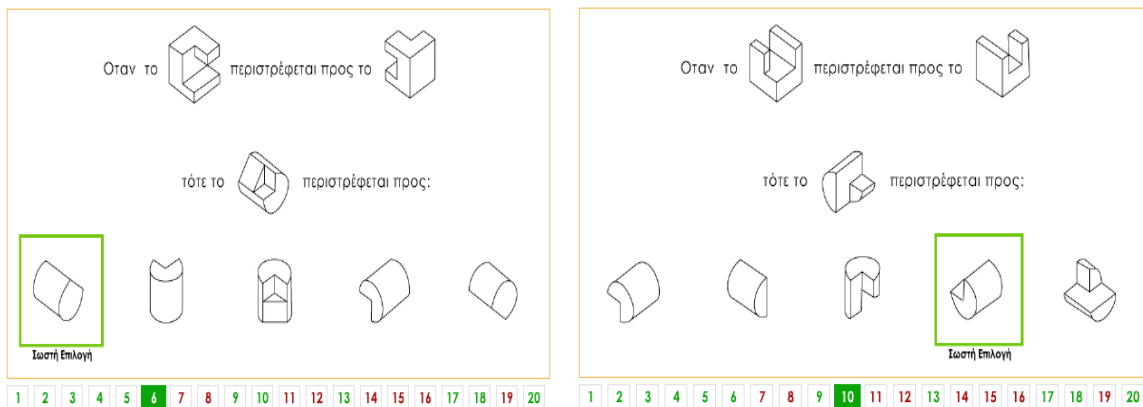
Από μια περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων των συμμετεχόντων της Ομάδας I και II (Πίνακας 7), προκύπτει ότι οι ερωτήσεις που παρουσιάζουν το μικρότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, ανήκουν στην κατηγορία των ερωτήσεων, όπου εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από έναν άξονα περιστροφής. Πιο συγκεκριμένα οι άξονες περιστροφής των ερωτήσεων αυτών είναι οι z και y κατά  $90^\circ$  σε όλες, εκτός από την 7<sup>η</sup> ερώτηση, όπου η γωνία περιστροφής είναι  $180^\circ$ . Αντίθετα οι ερωτήσεις με το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, ανήκουν και στις δύο κατηγορίες (απλής, σύνθετης) περιστροφής. Οι δύο (ερώτηση 9<sup>η</sup> και 10<sup>η</sup>), ανήκουν στην κατηγορία ερωτήσεων που εξετάζουν διεργασία περιστροφής γύρω από έναν άξονα, ενώ οι άλλες δύο (18<sup>η</sup> και 20<sup>η</sup>) ανήκουν στην κατηγορία των ερωτήσεων που εξετάζουν διεργασία περιστροφής γύρω από δύο άξονες κατά  $90^\circ$  και  $180^\circ$ . Η 1<sup>η</sup> και η 2<sup>η</sup> ερώτηση, που εμφανίζουν χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, εξετάζουν διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά γωνία  $90^\circ$ , ενώ η 9<sup>η</sup> ερώτηση, που εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, εξετάζει διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z κατά γωνία  $180^\circ$  (δηλαδή μία περιστροφή παραπάνω) (Εικόνα 43).

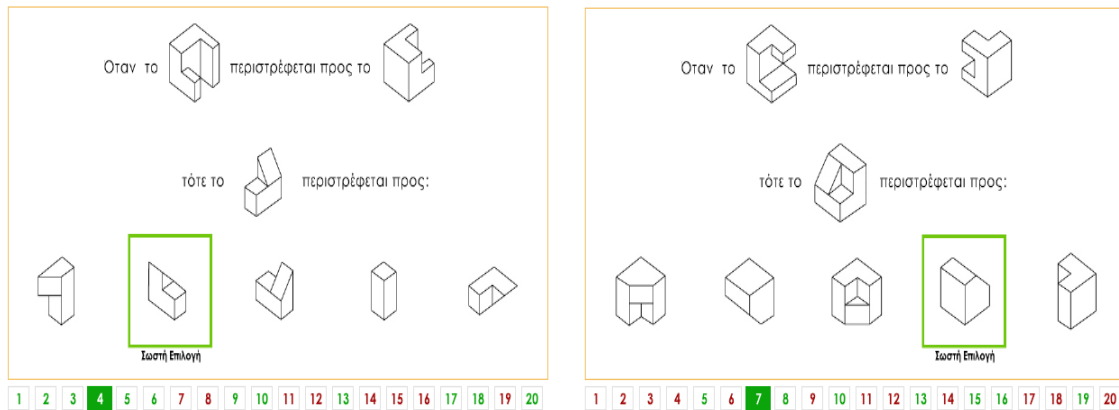


**Εικόνα 43:** Η 9<sup>η</sup> ερώτηση σε σχέση με την 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup>, όπου παρατηρείται η διαφορετική σύνθεση και ο προσανατολισμός των εξεταζόμενων ερεθισμάτων, ενώ η διεργασία περιστροφής γίνεται γύρω από τον άξονα z.

Πιθανόν στην 9<sup>η</sup> ερώτηση η επιπλέον περιστροφή σε συνδυασμό με τον διαφορετικό προσανατολισμό στον χώρο του αρχικού και του εξεταζόμενου ερεθίσματος, καθώς και η πολυπλοκότητα της δομής του εξεταζόμενου αντικειμένου (σχήμα με πολλές ακμές) να οδήγησε την πλειοψηφία των φοιτητών να επιλέξουν λανθασμένα το αντικείμενο που εμφανίζεται στην τέταρτη θέση του συγκεκριμένου στιγμιότυπου αντί του σωστού που βρίσκεται στην τρίτη θέση. Επιπλέον τα αντικείμενα σε αυτές τις δύο θέσεις είναι τα μόνα από τις εναλλακτικές επιλογές της ερώτησης που μοιάζουν τόσο μεταξύ τους όσο και με το αρχικό ερέθισμα που έχει περιστραφεί. Πιθανόν οι φοιτητές να προσπάθησαν να βρουν κάποια κοινά στοιχεία μεταξύ αυτών των αντικειμένων.

Η 6<sup>η</sup> και η 10<sup>η</sup> ερώτηση εξετάζουν διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180° και το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι αντικείμενο με καμπύλες και δεν μοιάζει με το αρχικό ερέθισμα. Παρόλα αυτά η 6<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει χαμηλό ποσοστό λαθών (<=50%) ενώ η 10<sup>η</sup> υψηλό(>60%) και στις δύο ομάδες. Πιθανόν διότι το σχήμα του αντικειμένου της 6<sup>ης</sup> ερώτησης είναι συμπαγές, χωρίς προεξοχές. Επίσης η 4<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ερώτηση εξετάζουν διεργασία περιστροφής γύρω από τον y άξονα αλλά εμφανίζουν χαμηλό ποσοστό λαθών. Το εξεταζόμενο ερέθισμα αυτών των ερωτήσεων είναι αντικείμενο με σχήμα χωρίς καμπύλες, το οποίο έχει παρόμοια δομή με το σχήμα του αντικειμένου του αρχικού ερεθίσματος. Ίσως αυτός να ήταν ο λόγος της εμφάνισης λίγων λαθών στην 4<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ερώτηση σε αντίθεση με την 10<sup>η</sup> (Εικόνα 44).

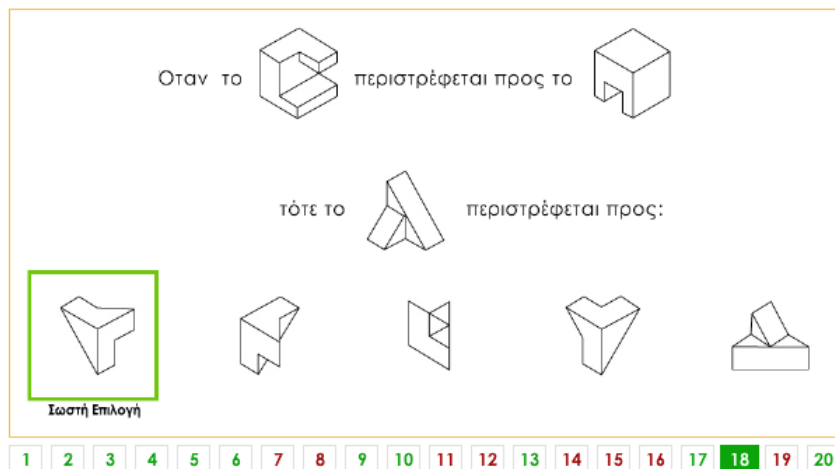




**Εικόνα 44:** Η 10<sup>η</sup> ερώτηση με υψηλό ποσοστό λαθών σε σχέση με την 6<sup>η</sup> την 4<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> με χαμηλό ποσοστό λαθών όπου εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον  $y$  άξονα






*Ανάλυση των ερωτήσεων από 11 έως 20 που αφορούν διπλή περιστροφή γύρω από δύο άξονες και εμφανίζουν υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων από τους φοιτητές στις Ομάδες I και II*

Η 18<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες (>84%). Από το στιγμιότυπο της ερώτησης (Εικόνα 45) φαίνεται ότι, εξετάζεται διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα  $z$  κατά  $90^\circ$  και γύρω από τον άξονα  $y$  κατά  $180^\circ$ . Ακόμα φαίνεται ότι το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι αντικείμενο με σχήμα όπου υπάρχουν αρκετές ακμές και προεξοχές, πιο σύνθετο από το σχήμα του αντικειμένου του αρχικού ερεθίσματος. Ακόμα το αντικείμενο του εξεταζόμενου ερεθίσματος διαφέρει από το αρχικό, διότι η δομή του μοιάζει περισσότερο με πυραμίδα, παρά με κύβου, όπως μοιάζει του αρχικού. Τέλος αρχικό και εξεταζόμενο ερέθισμα δεν εμφανίζουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο.



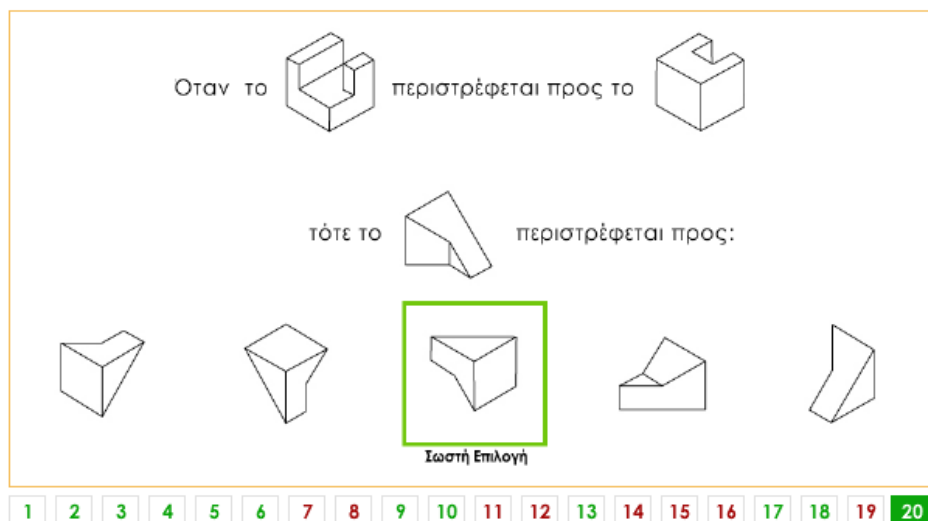
**Εικόνα 45:** Στιγμιότυπο της 18<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται διπλή περιστροφή γύρω από τον άξονα  $z$  κατά  $90^\circ$  και γύρω από τον άξονα  $y$  κατά  $180^\circ$ .

Από μια περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων των φοιτητών προκύπτει ότι στην πλειοψηφία τους επέλεξαν λανθασμένα το αντικείμενο που εμφανίζεται στην πέμπτη και στην τέταρτη θέση του συγκεκριμένου στιγμιότυπου αντί το πρώτο αντικείμενο που αντιστοιχεί στην σωστή απάντηση της ερώτησης 18 (Πίνακας 10).

<b>Πίνακας 10:</b> Ανάλυση των απαντήσεων των Ομάδων I και II στην 18 <sup>η</sup> ερώτηση.						
<b>Ερώτηση 18<sup>η</sup></b>						
<b>Εναλλακτικές απαντήσεις στην 18<sup>η</sup> ερώτηση</b>						<b>Σύνολο απαντήσεων</b>
<b>Θέση εναλλακτικής απάντησης της 18<sup>ης</sup> ερώτησης</b>	<b>1 (Σωστή)</b>	2	3	4	5	
<b>Ομάδα I (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)</b>	<b>3 (23,1%)</b>	0 (0,0%)	1 (7,7%)	4 (30,8%)	5 (38,5%)	13 (100%)
<b>Ομάδα II (n = 8) Συχνότητα επιλογής (%)</b>	<b>1 (12,5%)</b>	0 (0,0%)	1 (12,5%)	3 (37,5%)	3 (37,5%)	8 (100%)

Τα αντικείμενα στην τέταρτη και στην πρώτη θέση του συγκεκριμένου στιγμιότυπου φαίνεται να μοιάζουν με το περιστρεμμένο αντικείμενο της πρώτης σειράς της ερώτησης ως προς το ότι η μεγάλη έδρα των σχημάτων αυτών των αντικειμένων είναι ορατή όπως συμβαίνει και στο περιστρεμμένο αρχικό αντικείμενο.

Τέλος η 20<sup>η</sup> ερώτηση εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα  $y$  κατά  $180^\circ$  και γύρω από τον άξονα  $x$  κατά  $90^\circ$ . Το ποσοστό λαθών είναι 76,9% για την Ομάδα I και 100% για την Ομάδα II. Από το στιγμιότυπο της ερώτησης (Εικόνα 46) φαίνεται ότι το σχήμα του εξεταζόμενου ερεθίσματος έχει αρκετά διαφορετική δομή από το σχήμα του αρχικού αντικειμένου διότι είναι ένα συμπαγές σχήμα χωρίς προεξοχές. Ακόμα τα παραπάνω αντικείμενα εμφανίζουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο. Επιπλέον η δομή του σχήματος του αρχικού αντικειμένου διαφέρει από του εξεταζόμενου, διότι η δομή του μοιάζει περισσότερο με κύβο παρά με πυραμίδα.



**Εικόνα 46:** Στιγμιότυπο της 20<sup>ης</sup> ερώτησης όπου εξετάζεται η διεργασία νοητικής περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 180° και x κατά 90°.

Από μια περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων των φοιτητών προκύπτει ότι οι απαντήσεις τους μοιράστηκαν στις περισσότερες επιλογές της ερώτησης (Πίνακας 11).

**Πίνακας 11:** Ανάλυση των απαντήσεων των Ομάδων I και II στην 20<sup>η</sup> ερώτηση.

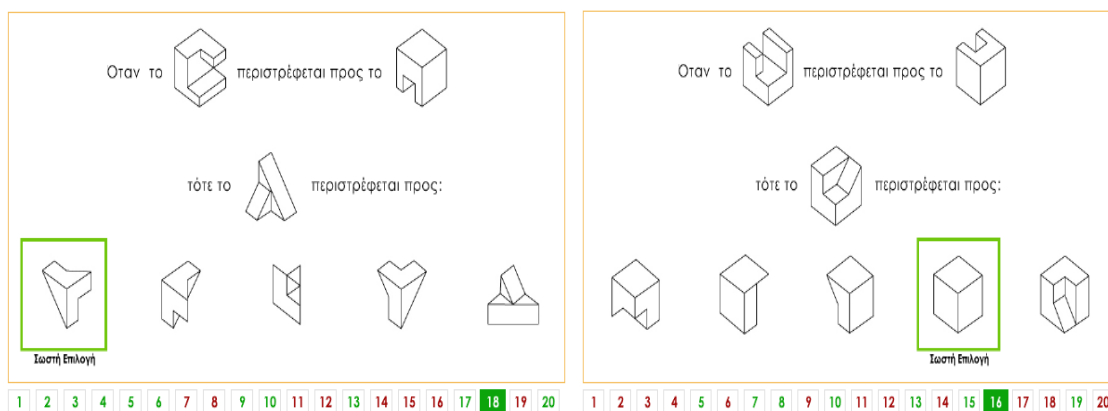
Ερώτηση 20 <sup>η</sup>						
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 20 <sup>η</sup> ερώτηση						Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 20 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	<b>3 (Σωστή)</b>	4	5	
Ομάδα I (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	3 (23,1%)	2 (15,4%)	<b>3 (23,1%)</b>	1 (7,7%)	4 (30,8%)	13 (100%)
Ομάδα II (n = 8) Συχνότητα επιλογής (%)	3 (37,5%)	2 (25,0%)	<b>0 (0,0%)</b>	1 (12,5%)	2 (25,0%)	8 (100%)

Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων της Ομάδας I επέλεξαν λανθασμένα το αντικείμενο που εμφανίζεται στην πέμπτη θέση στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο αντί το αντικείμενο



της τρίτης θέσης που είναι η σωστή επιλογή. Ενώ η πλειοψηφία των φοιτητών της Ομάδας II επέλεξαν λανθασμένα το αντικείμενο που εμφανίζεται στην πρώτη θέση και κανένας φοιτητής δεν επέλεξε τη σωστή επιλογή. Μεταξύ των αντικειμένων των επιλογών που εμφανίζονται στην πρώτη, τρίτη και πέμπτη θέση του συγκεκριμένου στιγμιότυπου, παρατηρείται ότι η μία βάση (τρίγωνο ή τετράγωνο) του σχήματος, έχει ίδιο προσανατολισμό στο χώρο με μία από τις βάσεις του σχήματος του αντικειμένου του περιστρεμμένου αρχικού ερεθίσματος.

Η 18<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει το μέγιστο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Η 16<sup>η</sup> ερώτηση που εξετάζει την ίδια νοητική διεργασία περιστροφής (γύρω από τον άξονα z κατά 90° και γύρω από τον άξονα y κατά 180°), εμφανίζει μικρότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (<=38,5%) και στις δύο ομάδες. Πιθανόν διότι το αντικείμενο του εξεταζόμενου ερεθίσματος στην 16<sup>η</sup> ερώτηση έχει τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο με το αντικείμενο του αρχικού ερεθίσματος. Επιπλέον φαίνεται ότι οι δομές των δύο αντικειμένων στην 16<sup>η</sup> ερώτηση μοιάζουν περισσότερο (κύβος). Αντίθετα στην 18<sup>η</sup> ερώτηση ούτε τα αντικείμενα (αρχικό και εξεταζόμενο) έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο, αλλά ούτε οι δομές τους φαίνεται να μοιάζουν (κύβος, πυραμίδα) (Εικόνα 47).



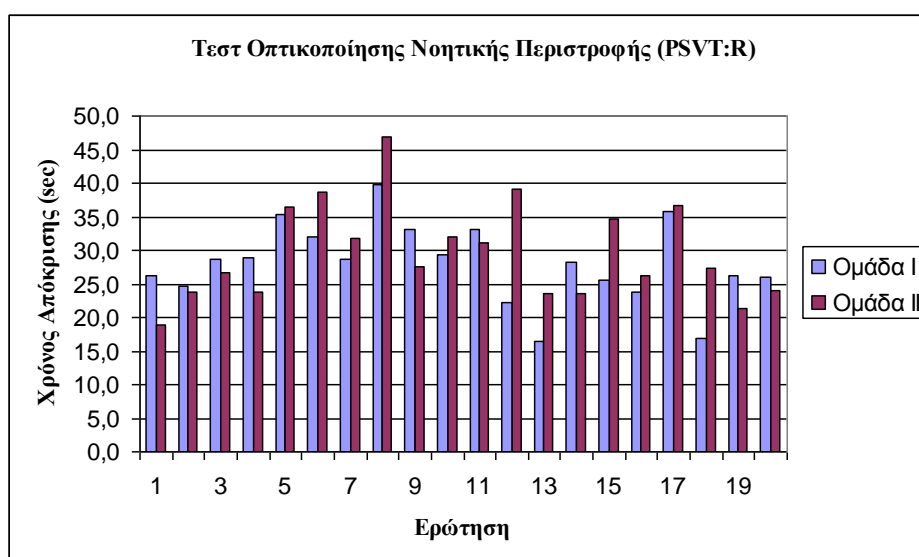
**Εικόνα 47:** Η 18<sup>η</sup> ερώτηση που εμφανίζει αυξημένο ποσοστό λαθών σε σχέση με την 16<sup>η</sup> που εμφανίζει χαμηλό ποσοστό λαθών όπου η νοητική διεργασία περιστροφής είναι ίδια

Από όλη την παραπάνω ανάλυση και διερεύνηση των ποσοστών των λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες (Ομάδα I και Ομάδα II), παρατηρείται ότι, όταν το δεύτερο ερέθισμα περιλαμβάνει σχήμα με καμπύλες ή σχήμα με προεξοχές και πολλές ακμές, τότε έχουμε υψηλό ποσοστό λαθών από τους συμμετέχοντες. Ο υψηλότερος βαθμός δυσκολίας, όσο αφορά την κατανόηση του σχήματος των εξεταζόμενων ερεθισμάτων, είχε ως αποτέλεσμα οι ερωτήσεις που εξετάζαν την νοητική περιστροφή αυτών των ερεθισμάτων να επισκοπούνται περισσότερες φορές, καθώς οι

συμμετέχοντες έκαναν χρήση της δυνατότητάς τους να προχωρούν σε επόμενη ερώτηση. Επίσης από ότι φαίνεται οι ερωτήσεις που εξέταζαν μια νοητική διεργασία περιστροφής δεν δυσκόλεψαν τους συμμετέχοντες, αφού εκεί εμφανίστηκαν τα μικρότερα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων ως επί τω πλείστον. Αντίθετα οι νοητικές διεργασίες διπλής περιστροφής και ειδικότερα αυτές εκ των οποίων η μία είναι γύρω τον άξονα y κατά 180° φαίνεται πως δυσκόλεψαν περισσότερο τους συμμετέχοντες.

### 5.1.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 2), παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι απόκρισης ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)» ξεχωριστά για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και Ομάδας II. Φαίνεται πως οι μέσοι χρόνοι απόκρισης στις περισσότερες ερωτήσεις είναι αρκετά υψηλοί και για τις δύο ομάδες. Ακόμα φαίνεται ότι οι περισσότερες ερωτήσεις του τεστ αντιμετωπίζονται με τον ίδιο περίπου τρόπο και στις δύο ομάδες, διότι ο μέσος χρόνος απάντησης της Ομάδας I είναι περίπου ίδιος με της Ομάδας II.



**Διάγραμμα 2:** Μέσοι χρόνοι απόκρισης σε sec ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης της Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» για τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 8 συμμετέχοντες της Ομάδας II .

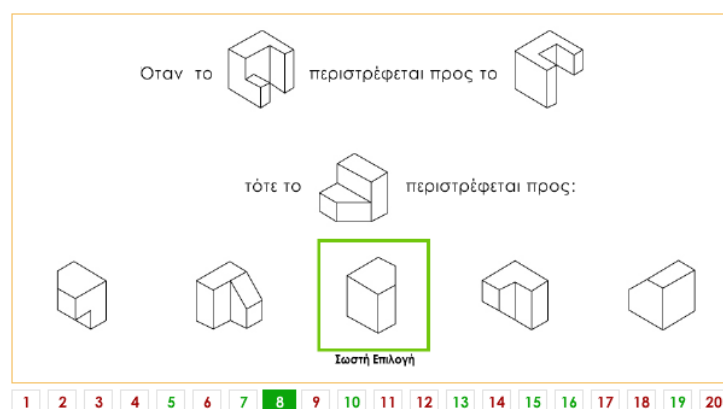
Επιπλέον στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος μέσος χρόνος απόκρισης, ανά ερώτηση σε sec, για κάθε ομάδα.

**Πίνακας 12:** Ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή και τυπική απόκλιση σε sec ανά ερώτηση για τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 8 της Ομάδας II

Ερώτηση	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα I (n=13)	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα II (n=8)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα I (n=13)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα II (n=8)	Μέση Τιμή Ομάδα I (n=13)	Μέση Τιμή Ομάδα II (n=8)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα I (n=13)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα II (n=8)
1	9,5	12,0	45,7	30,0	26,2	18,8	12,2	6,6
2	7,3	7,8	61,9	49,0	24,7	23,9	18,4	14,5
3	10,7	13,1	59,5	57,6	28,6	26,6	16,5	14,5
4	11,2	8,2	55,6	49,0	28,9	23,7	12,6	13,2
5	8,4	11,0	72,7	64,3	35,3	36,5	19,5	17,4
6	7,6	20,4	67,5	70,1	32,0	38,6	17,5	16,4
7	11,8	19,2	39,8	61,6	28,8	31,8	8,8	14,5
8	15,1	30,3	65,0	66,5	39,8	46,8	12,4	12,2
9	17,2	12,0	96,8	37,5	33,1	27,6	22,3	9,6
10	0,2	11,2	50,6	48,0	29,3	32,1	15,4	14,4
11	17,3	13,8	64,4	43,6	33,1	31,1	15,8	10,8
12	11,3	15,5	46,9	77,4	22,2	39,0	11,5	18,3
13	5,8	13,1	26,6	43,9	16,5	23,6	6,3	10,9
14	15,5	13,4	59,8	46,2	28,3	23,5	12,4	10,8
15	9,4	22,2	51,7	57,6	25,6	34,6	11,9	12,0
16	11,5	11,5	43,7	54,8	23,9	26,3	11,2	15,2
17	15,8	20,4	103,4	83,1	35,8	36,6	23,2	20,9
18	3,0	16,0	37,1	48,3	16,9	27,4	9,0	11,4
19	2,3	14,4	73,8	28,6	26,2	21,3	18,6	5,0
20	1,6	0,1	62,6	75,1	26,0	24,1	21,2	24,3

*Ανάλυση των ερωτήσεων από 1 έως 10 (μια διεργασία περιστροφής) που εμφανίζουν υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης από τους φοιτητές στις Ομάδες I και II.*

Από το Διάγραμμα 2 και τον Πίνακα 12 παρατηρείται ότι στην 8<sup>η</sup> ερώτηση (Εικόνα 48) εμφανίζονται οι πιο υψηλοί μέσοι χρόνοι απόκρισης από όλες τις άλλες ερωτήσεις στην Ομάδα I (Mean=39,8 SD=12.4) και Ομάδα II (Mean=46.8 SD=12.2).



**Εικόνα 48:** Στιγμιότυπο της 8<sup>ης</sup> ερώτησης, όπου εξετάζεται νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα x κατά 180°.

Ο μέσος όρος απόκρισης της Ομάδας II είναι μεγαλύτερος από της Ομάδας I. Η τυπική απόκλιση και για τις δύο ομάδες είναι περίπου η ίδια. Η ερώτηση εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα x κατά 180°. Επιπλέον η ερώτηση εμφανίζει μικρότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (37,5%) από ότι για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (61,5%).

Στην 9<sup>η</sup> ερώτηση, οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν μικρότερο μέσο χρόνο απόκρισης (Mean=22,3 SD=9,6) από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=33,1 SD=27,6). Επιπλέον η τιμή της τυπικής απόκλισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφανίζει από τις υψηλότερες τιμές. Ακόμα η ερώτηση εμφανίζει από τα μεγαλύτερα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες (Ομάδα I:76,9%, Ομάδα II:75,0%).

Στην 10<sup>η</sup> ερώτηση, παρατηρείται ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφανίζουν υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης και υψηλή τυπική απόκλιση (Mean=29,3 SD=15,4). Για την Ομάδα II οι αντίστοιχες τιμές είναι υψηλές (Mean=32,1 SD=14,4) και κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με της Ομάδας I. Επιπλέον η ερώτηση εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:84,6%, Ομάδα II:62,5%).

Η 1<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει χαμηλούς μέσους χρόνους απόκρισης για την Ομάδα I (Mean=26,2 SD=12,2) και για την Ομάδα II (Mean=18,8 SD=6,6). Επιπλέον η Ομάδα II εμφανίζει πολύ χαμηλή τυπική απόκλιση που σημαίνει ότι όλοι οι συμμετέχοντες της κατά μέσο όρο απάντησαν στον ίδιο χρόνο. Ακόμα η ερώτηση αυτή όπως είδαμε σε προηγούμενο διάγραμμα εμφανίζει χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I: 7,7%, Ομάδα II: 12,5%).

Η 2<sup>η</sup> ερώτηση για την Ομάδα I (Mean=24,7 SD=18,4) και την Ομάδα II (Mean=23,9 SD=14,5), εμφανίζει χαμηλούς μέσους χρόνους απόκρισης αλλά υψηλή τυπική απόκλιση και για τις δύο ομάδες. Άρα κάποιοι συμμετέχοντες απάντησαν γρήγορα και σωστά σε αντίθεση με κάποιους που χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο για να απαντήσουν. Ας σημειωθεί ότι η ερώτηση εμφανίζει χαμηλά ποσοστά λαθών (Ομάδα I: 15,4%, Ομάδα II: 25%).

Στην 4<sup>η</sup> ερώτηση οι μέσοι χρόνοι και για τις δύο ομάδες, Ομάδα I (Mean=28,9 SD=12,6) και Ομάδα II (Mean=23,7 SD=13,2) εμφανίζονται αρκετά χαμηλοί με χαμηλότερη μέση τιμή για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τυπική απόκλιση είναι μεγαλύτερη για την Ομάδα II, που σημαίνει ότι οι τιμές της κατανομής του χρόνου αποκλίνουν περισσότερο από την μέση τιμή για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II, από ότι της Ομάδας I. Η ερώτηση εμφανίζει πολύ

χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:23,1%, Ομάδα II:0,0%).

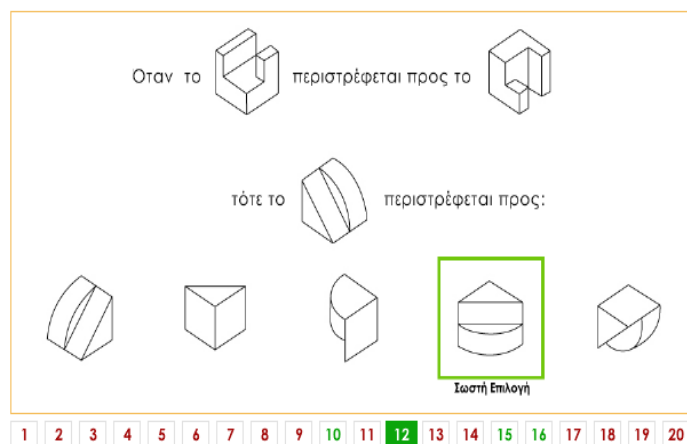
Στην 7<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζεται μεγαλύτερη μέση τιμή για χρόνους απόκρισης και τυπική απόκλιση για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (Mean=31,8 SD=14,5), από ότι για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean= 28,8 SD=8,8). Άρα οι χρόνοι των συμμετεχόντων της Ομάδας I δεν αποκλίνουν πολύ από την μέση τιμή της κατανομής. Επιπλέον η τυπική απόκλιση των συμμετεχόντων της Ομάδας I είναι η μικρότερη από όλες τις τυπικές αποκλίσεις των ερωτήσεων του τεστ. Επιπλέον η ερώτηση δεν εμφανίζει υψηλό αριθμό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:23,1%, Ομάδα II:25,0%).

*Ανάλυση των ερωτήσεων από 11 έως 20 (δύο διαδοχικές διεργασίες περιστροφής) που εμφανίζουν υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης από τους φοιτητές στις Ομάδες I και II.*

Η 18<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει μικρό μέσο χρόνο απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=16,9 SD=9,0) και Ομάδας II (Mean=27,4 SD=11,4), με τον μικρότερο να εμφανίζεται στην Ομάδα I. Επιπλέον και η τυπική απόκλιση της Ομάδας I είναι πολύ χαμηλή. Επομένως οι συμμετέχοντες της απάντησαν κατά μέσο όρο στον ίδιο χρόνο. Η ερώτηση εμφανίζει από τα μεγαλύτερα ποσοστά λαθών και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:84,6%, Ομάδα II:87,5%). Η επίδοση των συμμετεχόντων των δύο ομάδων στην ερώτηση σε συνδυασμό με τον μέσο χρόνο απόκρισης και την τυπική απόκλιση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όλοι οι συμμετέχοντες αντιμετώπισαν με περίπου τον ίδιο τρόπο την ερώτηση, δηλαδή μάλλον βιάστηκαν να την απαντήσουν.

Η 20<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει σχετικά χαμηλό μέσο χρόνο απόκρισης και υψηλή τυπική απόκλιση για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=26,0 SD=21,2) και της Ομάδας II (Mean=24,1 SD=24,3). Δεδομένου ότι η ερώτηση εμφανίζει μεγάλο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:76,9%, Ομάδα II:100%), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάποιοι συμμετέχοντες απάντησαν σχετικά σύντομα στην ερώτηση, πιθανόν κάτω από την πίεση του χρόνου αφού ήταν η τελευταία ερώτηση του τεστ, ενώ κάποιοι καθυστέρησαν παραπάνω.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η 12<sup>η</sup> ερώτηση (Εικόνα 49), στην οποία οι συμμετέχοντες της Ομάδας II (Mean=39,0 SD=18,3), εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη μέση τιμή από ότι της Ομάδας I (Mean=22,2 SD=11,5).



**Εικόνα 49:**Στιγμιότυπο της 12<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα x κατά 90° και γύρω από τον άξονα y κατά 90°.

Αλλά και στην τυπική απόκλιση των συμμετεχόντων της Ομάδας II εμφανίζει αρκετά μεγάλη τιμή. Δεδομένου ότι η ερώτηση δεν εμφανίζει μεγάλο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:46,2%, Ομάδα II:37,5%) συμπεραίνουμε ότι κάποιιοι συμμετέχοντες από την Ομάδα II καθυστέρησαν να απαντήσουν στην ερώτηση. Πιθανόν επειδή το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι αντικείμενο με καμπύλες, με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο από το αντικείμενο του αρχικού ερεθίσματος. Επίσης φαίνεται πως το αρχικό ερέθισμα μοιάζει περισσότερο με κύβο ενώ το εξεταζόμενο με πυραμίδα.

Η 17<sup>η</sup> ερώτηση, εμφανίζει υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης, αλλά και πολύ υψηλή τυπική απόκλιση για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=35,8 SD=23,2) και της Ομάδας II (Mean=36,6 SD=20,9). Επομένως οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων εμφάνισαν αρκετές διακυμάνσεις όσο αφορά τον χρόνο απόκρισης. Επίσης η ερώτηση δεν εμφανίζει πολύ υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (46,2%).

Τέλος η 19<sup>η</sup> ερώτηση που δεν εμφανίζει υψηλό ποσοστό λαθών, εμφανίζει χαμηλό μέσο χρόνο απόκρισης για την Ομάδα I (Mean=26,2 SD=18,6) και την Ομάδα II (Mean=21,3 SD=5,0). Επιπλέον η τυπική απόκλιση των συμμετεχόντων της Ομάδας II είναι πολύ χαμηλή. Επομένως σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες αυτής της ομάδας απάντησαν περίπου στον ίδιο χρόνο. Σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας I που εμφάνισαν αρκετά υψηλή τυπική απόκλιση. Επίσης η ερώτηση δεν εμφανίζει υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:46,2%, Ομάδα II:50,0%)

Αν υποθέσουμε ότι οι συμμετέχοντες κάνουν τον ίδιο χρόνο να απαντήσουν στις 20 ερωτήσεις του PSVT:R τεστ διάρκειας 10min τότε κατά μέσο όρο χρειάζονται 30sec

προκειμένου να απαντήσουν σε κάθε ερώτηση του τεστ. Η μελέτη των χρόνων απόκρισης για τις κατηγορίες ερωτήσεων 1-10 που αφορούν απλή περιστροφή γύρω από έναν άξονα και 11-20 που αφορούν διπλή περιστροφή γύρω από δύο άξονες, έδειξε ότι για αρκετές ερωτήσεις και στις δύο κατηγορίες ξεπεράστηκε αυτός ο θεωρητικός μέσος χρόνος.

Πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία των ερωτήσεων 1-10, στην 5<sup>η</sup> ερώτηση όλοι οι συμμετέχοντες ξεπέρασαν το θεωρητικό μέσο χρόνο, ομοίως και στην 6<sup>η</sup> και στην 8<sup>η</sup>. Στην 9<sup>η</sup> ερώτηση μόνο οι συμμετέχοντες της Ομάδας I ξεπέρασαν αυτό το χρόνο ενώ στην 7<sup>η</sup> και την 10<sup>η</sup> οι συμμετέχοντες της Ομάδας II τον ξεπέρασαν.

Στην κατηγορία των ερωτήσεων 11-20, παρατηρήθηκε ότι, στην 11<sup>η</sup> και στην 17<sup>η</sup> ερώτηση οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων παρουσίασαν μέσο χρόνο απόκρισης πάνω από τον μέσο όσο των 30sec. Ενώ στην 12<sup>η</sup> και 15<sup>η</sup> ερώτηση μόνο οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης.

Οι μέσοι χρόνοι των υπόλοιπων ερωτήσεων κυμάνθηκαν μεταξύ των 20sec και 30sec με εξαίρεση τον μέσο χρόνο απόκρισης για την 1<sup>η</sup> ερώτηση και τους συμμετέχοντες της Ομάδας II, την 13<sup>η</sup> και 18<sup>η</sup> ερώτηση για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, όπου η τιμή του ήταν μικρότερη από 15sec. Επίσης σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι οι τελευταίες ερωτήσεις του τεστ, αν και εμφανίζουν υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων δεν εμφανίζουν υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης. Πιθανή αιτία μπορεί να ήταν η πίεση του χρόνου, οπότε οι συμμετέχοντες να μην είχαν αρκετό χρόνο στη διάθεσή τους, προκειμένου να επεξεργαστούν τα δεδομένα της κάθε ερώτησης και να επιλέξουν την σωστή επιλογή.

Ολοκληρώνοντας με την μελέτη και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Περιστροφών (PSVT:R)», είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, κανένας συμμετέχοντας και από τις δύο ομάδες, δεν ξεπέρασε τον χρόνο των δέκα λεπτών που προτείνεται για το τεστ, διότι είχε επιβληθεί χρονικός περιορισμός. Η Ομάδα I εμφάνισε μικρότερο μέσο χρόνο συμπλήρωσης του τεστ από την Ομάδα II. Οι τελευταίες ερωτήσεις παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων, αν και οι μέσοι χρόνοι απόκρισής τους, δεν είναι σχετικά υψηλοί. Ακόμα διαπιστώνεται ότι έξι στις είκοσι (6/20) ερωτήσεις της πρώτης μέρας (Ομάδα I) και εννέα στις είκοσι (9/20) ερωτήσεις της δεύτερης μέρας (Ομάδα II), έχουν μέσο χρόνο απόκρισης μεγαλύτερο από 30sec.

Ερωτήσεις που πιθανόν να καθυστέρησαν τους συμμετέχοντες και προηγούνται των τριών τελευταίων, όπως για παράδειγμα είναι η 8<sup>η</sup> και η 17<sup>η</sup>, εμφανίζουν μέσους

χρόνους απόκρισης μεγαλύτερους από 30sec. Παρατηρούνται όμως και ερωτήσεις οι οποίες έχουν χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, αλλά εμφανίζουν υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης, όπως για παράδειγμα η 5<sup>η</sup>, 6<sup>η</sup>, 12<sup>η</sup> ερώτηση. Πιθανόν να καταναλώθηκε περισσότερος μέσος χρόνος προκειμένου να απαντηθούν αυτές οι ερωτήσεις, με αποτέλεσμα ο υπολειπόμενος χρόνος, να μην ήταν αρκετός ώστε να απαντηθούν οι τελευταίες, που εξετάζαν πιο σύνθετες διεργασίες. Ο χρόνος των 10 λεπτών σύμφωνα με τον Bodner (1977), φαίνεται να μην επαρκεί για την συμπλήρωση του PSVT:R τεστ, διότι 16 από τους 37 φοιτητές δεν το ολοκλήρωσαν.

### **5.1.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)»**

Προκειμένου να διερευνηθεί αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε τον τρόπο που απαντούσαν οι συμμετέχοντες, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση One Way Anova, η οποία συνέκρινε τον μέσο όρο απόκρισης του κάθε συμμετέχοντα στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Περιστροφών PSVT:R». Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα, δηλαδή Ομάδα I ή Ομάδα II και η εξαρτημένη ήταν ο χρόνος απόκρισης του κάθε συμμετέχοντα σε msec. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε αυτό το τεστ δεν διέφερε σημαντικά ο χρόνος απόκρισης σε κάθε ομάδα,  $[F(1,35) = .363, p = .551], (p > .05)$ .

Επίσης στην προσπάθεια να διερευνηθεί αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε το πλήθος των σωστών απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ίδιο τεστ, χρησιμοποιήθηκε η One Way Anova ανάλυση, που συνέκρινε το σκορ του κάθε συμμετέχοντα ανά ομάδα. Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα (Ομάδα I ή Ομάδα II) και η εξαρτημένη το πλήθος των σωστών απαντήσεων του κάθε συμμετέχοντα. Από την ανάλυση προέκυψε ότι σε αυτό το τεστ δεν διέφερε σημαντικά το πλήθος των σωστών απαντήσεων σε κάθε ομάδα  $[F(1,19) = .062, p = .805]$ .

Στο ερώτημα αν το είδος της περιστροφής (μονή, διπλή) επηρέασε τον μέσο χρόνο απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας I, η ανάλυση έδειξε ότι, όντως τον επηρέασε. Πιο συγκεκριμένα στη μονή περιστροφή, δηλαδή την περιστροφή περί έναν άξονα, οι συμμετέχοντες της Ομάδας I καθυστερούσαν περισσότερο να απαντήσουν (Mean=30,67, Std=4,5) σε σύγκριση με την διπλή περιστροφή, δηλαδή τη διαδοχική περιστροφή περί δύο διαφορετικών αξόνων (Mean=25,44, Std=6,16)  $[F(1,18) = 4,694, p = .044]$ .

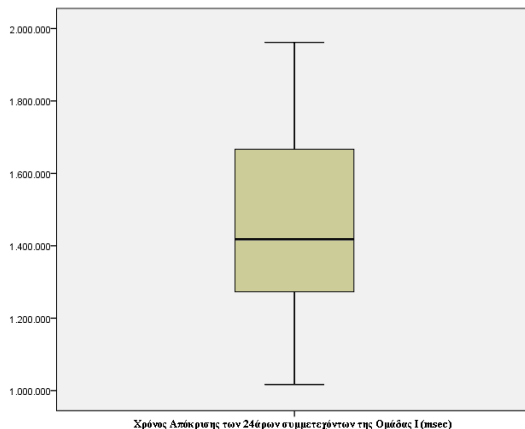


Χρησιμοποιήθηκε One Way Anova για κάθε ομάδα (Ομάδα I και Ομάδα II), ξεχωριστά με ανεξάρτητη μεταβλητή το είδος περιστροφής και εξαρτημένη τον χρόνο απόκρισης για κάθε ερώτηση, καθώς και το πλήθος των σωστών απαντήσεων για κάθε ερώτηση. Όσον αφορά το πλήθος των σωστών απαντήσεων της Ομάδας I και II καθώς και το μέσο χρόνο απόκρισης της Ομάδας II, ο παράγοντας είδος περιστροφής δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο (Mean=25,44, Std=6,16) [ $F(1,18) = 4,694, p = .044$ ].

## 5.2 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων

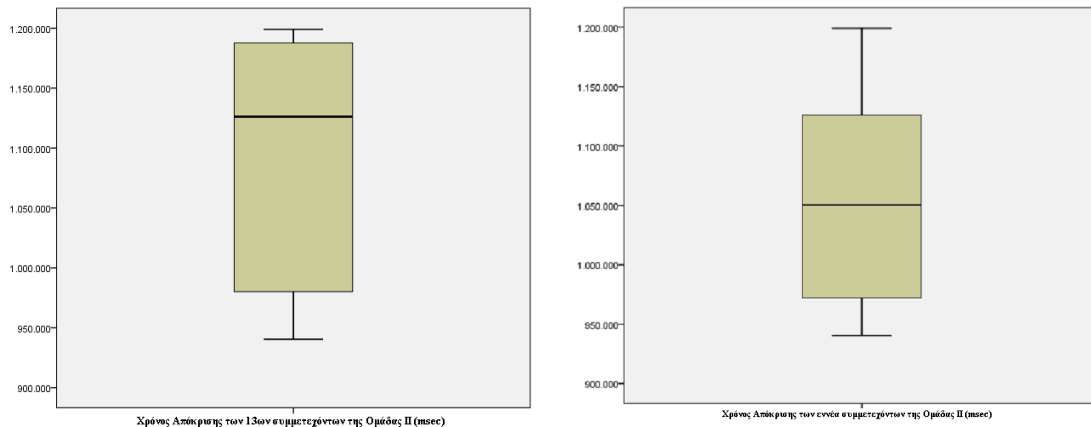
### 5.2.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

Στο θηκόγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 50) μπορούμε να δούμε την κατανομή των τιμών των χρόνων συμπλήρωσης του τεστ από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I. Η κατανομή των τιμών εμφανίζει θετική ασυμμετρία για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Παράτυπες τιμές δεν εμφανίζονται.



**Εικόνα 50:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των συνολικών χρόνων των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I (αρχικό δείγμα και τελικό δείγμα).

Στην Εικόνα 51 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα της κατανομής των τιμών των χρόνων απόκρισης των 13 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) και των 9 συμμετεχόντων της Ομάδας II (τελικό δείγμα). Η κατανομή των τιμών για τους 13 συμμετέχοντες εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία, ενώ για τους 9 συμμετέχοντες φαίνεται να είναι συμμετρική. Το εύρος τιμών είναι μικρότερο για τους 9 συμμετέχοντες της Ομάδας II. Δεν εμφανίζονται παράτυπες τιμές.



**Εικόνα 51 :**Θηκογράμματα για την κατανομή των συνολικών χρόνων των 13 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) και των 9 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) της Ομάδας II.

### 5.2.2 Ανάλυση και διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 13), παρουσιάζεται ο μέσος συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του τεστ από τους συμμετέχοντες της κάθε ομάδας. Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι ο μέσος συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του τεστ της Ομάδας I είναι μεγαλύτερος από εκείνον της Ομάδας II. Το τεστ ολοκληρώθηκε με επιτυχία και από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I, δηλαδή απαντήθηκαν όλες οι ερωτήσεις από όλους τους φοιτητές. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι 20 από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I συμπλήρωσαν το τεστ σε χρόνο μεγαλύτερο από τα 20 λεπτά που τους είχε προταθεί. Αντίθετα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II που τους είχε επιβληθεί ο χρονικός περιορισμός των 20 λεπτών από την ίδια την εφαρμογή, εμφάνισαν μέσο χρόνο συμπλήρωσης του τεστ 17,67 λεπτά.

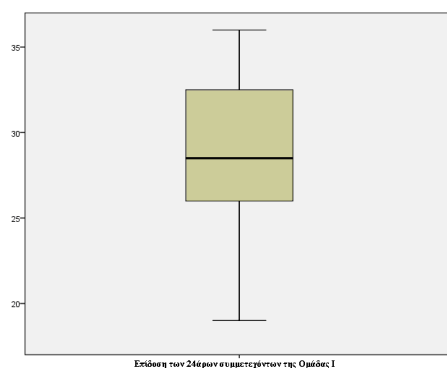
**Πίνακας 13:** Μέσος συνολικός χρόνος σε λεπτά ολοκλήρωσης του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και για τις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</i>			
	<b>Πλήθος Ολοκ/νων Τεστ (n)</b>	<b>Μέσος Χρόνος(Mean Time) (min)</b>	<b>Std Error</b>
<b>Ομάδα I (N=24)</b>	24	23,17	4,17
<b>Ομάδα II (N=13)</b>	9	17,67	1,72

### 5.2.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

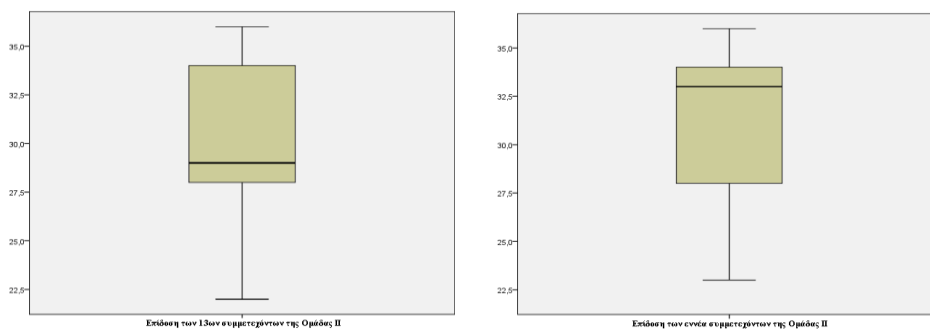
Όλοι οι συμμετέχοντες της Ομάδας I κατάφεραν να συμπληρώσουν το τεστ χωρίς να υπάρχουν ερωτήσεις που δεν είδαν ή δεν απάντησαν. Με την χρήση θηκογραμμάτων θα επιχειρηθεί η εξέταση της μελέτης της κατανομής των επιδόσεων για κάθε ομάδα συμμετεχόντων, με σκοπό να διαπιστώσουμε αν υπάρχουν ομοιότητες ή διαφορές, όσο αφορά την διασπορά των τιμών των επιδόσεων.

Στην Εικόνα 52 παρουσιάζεται το θηκόγραμμα της επίδοσης των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I. Παρατηρείται ότι η κατανομή της επίδοσης εμφανίζει θετική ασυμμετρία. Παράτυπες τιμές δεν εμφανίζονται.



**Εικόνα 52:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των τιμών της επίδοσης των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I.

Στην Εικόνα 53 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα της κατανομής των τιμών της επίδοσης για τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας II (αρχικό δείγμα) και τους 9 συμμετέχοντες της Ομάδας II (τελικό δείγμα). Η κατανομή των τιμών του αρχικού δείγματος εμφανίζει θετική ασυμμετρία ενώ του τελικού εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία. Το εύρος τιμών είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις. Παράτυπες τιμές δεν εμφανίζονται.



**Εικόνα 53:**Θηκογράμματα για την κατανομή των τιμών της επίδοσης των 13 συμμετεχόντων (αρχικό δείγμα) και των 9 συμμετεχόντων (τελικό δείγμα) της Ομάδας II.

#### 5.2.4 Ανάλυση και διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης

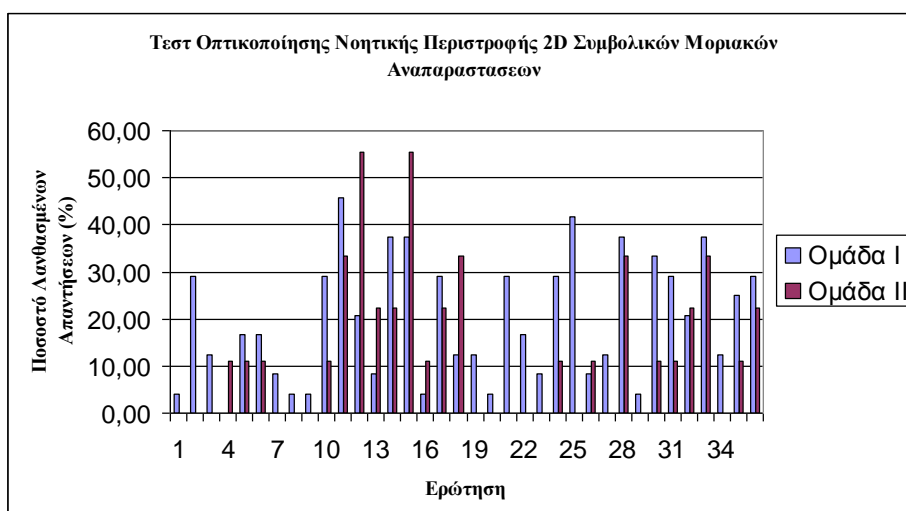
Στον Πίνακα 14 παρουσιάζεται το μέσο συνολικό σκορ που πέτυχαν οι φοιτητές, στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», της κάθε ομάδας ξεχωριστά. Από τον πίνακα φαίνεται ότι, οι συμμετέχοντες της Ομάδας I, που ολοκλήρωσαν το τεστ με επιτυχία, εμφανίζουν χαμηλότερες επιδόσεις από τους φοιτητές της Ομάδας II. Τέσσερις συμμετέχοντες της Ομάδας II δεν κατάφεραν να ολοκληρώσουν το τεστ με επιτυχία. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας από αυτούς απάντησε σε όλες τις ερωτήσεις εκτός από την 36<sup>η</sup> ερώτηση. Ο δεύτερος απάντησε σε όλες εκτός από δύο, την 35<sup>η</sup> και την 36<sup>η</sup> ερώτηση. Ο τρίτος απάντησε σε όλες τις ερωτήσεις εκτός από τέσσερις από την 33<sup>η</sup> – 36<sup>η</sup> ερώτηση και ο τέταρτος απάντησε σε όλες εκτός από έξι ερωτήσεις, από την 30<sup>η</sup> – 36<sup>η</sup> ερώτηση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας II είχαν χρονικό περιορισμό στην προσπάθειά τους και συμπλήρωσαν το τεστ σε συνολικό χρόνο μικρότερο από 20 min που είναι η συνολική διάρκεια του τεστ, πιθανόν να σημαίνει ότι η επιβολή χρονικού περιορισμού μάλλον λειτούργησε θετικά όσον αφορά την επίδοσή τους.

**Πίνακας 14:** Μέση Επίδοση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και για τις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</i>			
	<b>Πλήθος Ολοκ/νων Τεστ (n)</b>	<b>Μέση Επίδοση (Mean Score)</b>	<b>Std Error</b>
<b>Ομάδα I (N=24)</b>	24	28,8(80%)	4,7
<b>Ομάδα II (N=13)</b>	9	31,4(87,2%)	4,3

#### 5.2.5 Ανάλυση και διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 3) παρουσιάζεται με διαγραμματικό τρόπο το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 9 της Ομάδας II στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Φαίνεται πως υπάρχουν ερωτήσεις με αρκετά αυξημένο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες, αλλά και με αρκετά χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων.



**Διάγραμμα 3:** Ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», ανά ερώτηση για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 9 της Ομάδας II.

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται το πλήθος των λανθασμένων απαντήσεων, δηλαδή πόσοι συμμετέχοντες απάντησαν λάθος σε κάθε μια από τις ερωτήσεις του τεστ, καθώς και το ποσοστό, επί τοις εκατό των λανθασμένων απαντήσεων, που αντιστοιχεί σε αυτό το πλήθος, για κάθε μια από τις 36 ερωτήσεις του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και της Ομάδας II.

Στο τεστ οι ομάδες έχουν υψηλό ποσοστό επιτυχίας (Ομάδα I:80,0%, Ομάδα II:87,2%). Επιπλέον και στις δύο ομάδες συγκεκριμένες ερωτήσεις εμφανίζουν λάθη. Οι ερωτήσεις με τις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις εμφανίζονται στους συμμετέχοντες της Ομάδας I, παρά της Ομάδας II.

Ερωτήσεις με υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων είναι η 11<sup>η</sup>, 14<sup>η</sup>, 15<sup>η</sup>, 25<sup>η</sup>, 28<sup>η</sup> και 33<sup>η</sup> για την Ομάδα I, με την 11<sup>η</sup> να υπερέχει έναντι των υπολοίπων. Αντίθετα στην Ομάδα II παρατηρούνται μόνο δύο ερωτήσεις με αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, η 12<sup>η</sup> και η 15<sup>η</sup>.

Επίσης υπάρχουν και ερωτήσεις που εμφάνισαν πολύ χαμηλό ποσοστό λαθών ως και μηδενικό. Για την Ομάδα I σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν η 1<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup>, 8<sup>η</sup>, 9<sup>η</sup>, 16<sup>η</sup>, 20<sup>η</sup>, και 29<sup>η</sup>. Ενώ για την Ομάδα II διαπιστώνουμε ότι δεκαπέντε ερωτήσεις από τις 36 του τεστ, εμφανίζουν μηδενικό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, ενώ σε δέκα από τις 36 ερωτήσεις έκανε λάθος μόνο ένας συμμετέχοντας.

**Πίνακας 15:** Πλήθος και Ποσοστό Λανθασμένων Απαντήσεων για κάθε μια από τις 36 ερωτήσεις του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» ανά ομάδα συμμετεχόντων

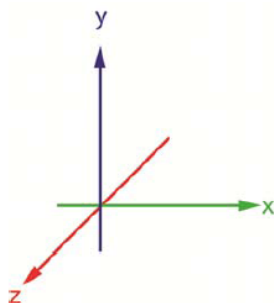
<b>Εξεταζόμενο Ερέθισμα</b>	<b>c 1</b>	<b>d 1</b>	<b>e 1</b>	<b>c 1</b>	<b>d 1</b>	<b>e 1</b>	<b>c 1</b>	<b>d 1</b>	<b>e 1</b>	<b>c 1</b>	<b>d 1</b>	<b>e 1</b>
<b>Ερώτηση</b>	<b>1<sup>η</sup></b>	<b>2<sup>η</sup></b>	<b>3<sup>η</sup></b>	<b>4<sup>η</sup></b>	<b>5<sup>η</sup></b>	<b>6<sup>η</sup></b>	<b>7<sup>η</sup></b>	<b>8<sup>η</sup></b>	<b>9<sup>η</sup></b>	<b>10<sup>η</sup></b>	<b>11<sup>η</sup></b>	<b>12<sup>η</sup></b>
<b>Ομάδα I (n=24)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	1 (4,2)	7 (29,1)	3 (12,5)	0 (0,0)	4 (16,7)	4 (16,7)	2 (8,3)	1 (4,2)	1 (4,2)	7 (29,2)	11 (45,8)	5 (20,8)
<b>Ομάδα II (n=9)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (11,1)	1 (11,1)	1 (11,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (11,1)	3 (33,3)	5 (55,6)
<b>Ερώτηση</b>	<b>13<sup>η</sup></b>	<b>14<sup>η</sup></b>	<b>15<sup>η</sup></b>	<b>16<sup>η</sup></b>	<b>17<sup>η</sup></b>	<b>18<sup>η</sup></b>	<b>19<sup>η</sup></b>	<b>20<sup>η</sup></b>	<b>21<sup>η</sup></b>	<b>22<sup>η</sup></b>	<b>23<sup>η</sup></b>	<b>24<sup>η</sup></b>
<b>Ομάδα I (n=24)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	2 (8,3)	9 (37,5)	9 (37,5)	1 (4,2)	7 (29,2)	3 (12,5)	3 (12,5)	1 (4,2)	7 (29,2)	4 (16,7)	2 (8,3)	7 (29,2)
<b>Ομάδα II (n=9)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	2 (22,2)	2 (22,2)	5 (55,6)	1 (11,1)	2 (22,2)	3 (33,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (11,1)
<b>Ερώτηση</b>	<b>25<sup>η</sup></b>	<b>26<sup>η</sup></b>	<b>27<sup>η</sup></b>	<b>28<sup>η</sup></b>	<b>29<sup>η</sup></b>	<b>30<sup>η</sup></b>	<b>31<sup>η</sup></b>	<b>32<sup>η</sup></b>	<b>33<sup>η</sup></b>	<b>34<sup>η</sup></b>	<b>35<sup>η</sup></b>	<b>36<sup>η</sup></b>
<b>Ομάδα I (n=24)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	10 (41,7)	2 (8,3)	3 (12,5)	9 (37,5)	1 (4,2)	8 (33,3)	7 (29,2)	5 (20,9)	9 (37,5)	3 (12,5)	6 (25,0)	7 (29,2)
<b>Ομάδα II (n=9)</b> Πλήθος λάθος απαντήσεων (%)	0 (0,0)	1 (11,1)	0 (0,0)	3 (33,3)	0 (0,0)	1 (11,1)	1 (11,1)	2 (22,2)	3 (33,3)	0 (0,0)	1 (11,1)	2 (22,2)

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 16) παρουσιάζεται το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων ανά κατηγορία ερωτήσεων. Οι βασικές κατηγορίες διαμορφώνονται από τον εξεταζόμενο άξονα (x,y ή z), την εξεταζόμενη γωνία περιστροφής (90° ή 180° ) και το αρχικό εξεταζόμενο ερέθισμα (2D συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας σε δυο διαφορετικές προοπτικές). Σε μια από τις βασικές κατηγορίες και για κάθε ομάδα εμφανίζεται στον Πίνακα 16 το πλήθος και το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων στο σύνολο των λανθασμένων απαντήσεων της ομάδας.

**Πίνακας 16:** Ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων στο σύνολο των 171 λαθών της Ομάδας I και των 42 λαθών της Ομάδας II, ανά άξονα περιστροφής, ανά γωνία περιστροφής και ανά κατηγορία αρχικού ερεθίσματος.

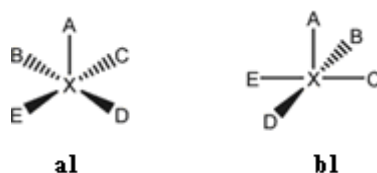
<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</b>												
<b>(Πλήθος Συνολικών Λαθών Ομάδας I = 171) &amp; (Πλήθος Συνολικών Λαθών Ομάδας II=42)</b>												
<b>Άξονας Περιστροφής</b>	<b>x</b>				<b>y</b>				<b>z</b>			
<b>Γωνία Περιστροφής</b>	<b>90°</b>		<b>180°</b>		<b>90°</b>		<b>180°</b>		<b>90°</b>		<b>180°</b>	
<b>Αρχικό Ερέθισμα (Ερώτηση)</b>	<b>a1 (1-3)</b>	<b>b1 (19-21)</b>	<b>a1 (4-6)</b>	<b>b1 (22-24)</b>	<b>a1 (13-15)</b>	<b>b1 (31-33)</b>	<b>a1 (16-18)</b>	<b>b1 (34-36)</b>	<b>a1 (7-9)</b>	<b>b1 (25-27)</b>	<b>a1 (10-12)</b>	<b>b1 (28-30)</b>
<b>Ομάδα I (n=24) Πλήθος και Ποσοστό (%) Λάθος Απαντήσεων</b>	11 6,43	11 6,43	8 4,68	13 7,60	20 11,69	21 12,28	11 6,43	16 9,36	4 2,34	15 8,77	23 13,45	18 10,52
<b>Ομάδα II (n=9) Πλήθος και Ποσοστό (%) Λάθος Απαντήσεων</b>	0 0	0 0	3 7,14	1 2,38	9 21,42	6 14,28	6 14,28	3 7,14	0 0	1 2,38	9 21,42	4 9,52

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι άξονες περιστροφής x, y, z.



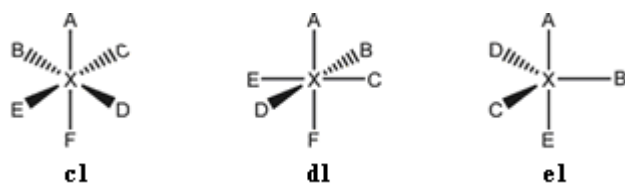
Σχήμα 3: Άξονες περιστροφής x, y, z.

Ας σημειωθεί ότι οι πρώτες δεκαοχτώ ερωτήσεις (1-18) εξετάζουν διεργασία νοητικής περιστροφής όπου το αρχικό ερέθισμα είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1). Οι υπόλοιπες δεκαοχτώ ερωτήσεις εξετάζουν διεργασία νοητικής περιστροφής όπου το αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1), με διαφορετικό προσανατολισμό από το προηγούμενο αρχικό ερέθισμα. Στην Εικόνα 54 που ακολουθεί παρουσιάζονται 2D συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας σε δύο διαφορετικές προοπτικές, που αποτελούν τα αρχικά ερεθίσματα a1 και b1 του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».



Εικόνα 54: 2D συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας σε δύο διαφορετικές προοπτικές a1 και b1 (αρχικά ερεθίσματα).

Τα εξεταζόμενα ερεθίσματα και στις δύο κατηγορίες ερωτήσεων παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: 2D συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία οκταέδρου σε δύο διαφορετικές προοπτικές c1, d1 και τριγωνικής διπυραμίδας e1 (εξεταζόμενα ερεθίσματα).



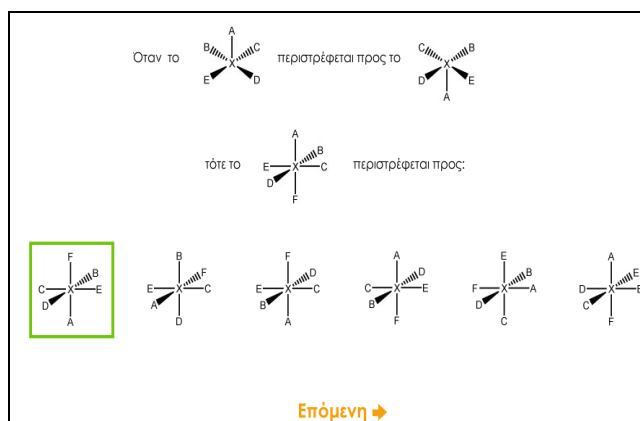
Με αυτόν τον τρόπο παρατηρούνται τα χαρακτηριστικά της κάθε ερώτησης και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το τι χαρακτηριστικά είχαν οι ερωτήσεις που απαντήθηκαν με μεγάλο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, καθώς και αυτών που είχαν πολύ μικρό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων εμφανίζονται στις κατηγορίες των ερωτήσεων που εξετάζουν νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα  $y$  κατά  $90^\circ$  και τον άξονα  $z$  κατά  $180^\circ$  και στις δύο κατηγορίες αρχικών ερεθισμάτων και για τις δύο ομάδες.

Για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις συνολικά εμφανίζονται όταν το αρχικό εξεταζόμενο ερέθισμα είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1). Αντίθετα για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις συνολικά εμφανίζονται όταν το αρχικό εξεταζόμενο ερέθισμα είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1). Επιπλέον η κατηγορία των ερωτήσεων που εμφάνισε τις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I είναι οι ερωτήσεις 10-12. Για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II η κατηγορία ερωτήσεων με τις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις είναι οι ερωτήσεις 10-12 και 13-15 (Πίνακας 16).

*Ανάλυση των ερωτήσεων με αυξημένο ποσοστό λαθών όπου ο άξονας περιστροφής είναι ο  $z$*

Η 11<sup>η</sup> ερώτηση, της οποίας ένα στιγμιότυπο παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 56), εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής όπου το αρχικό ερέθισμα είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και το εξεταζόμενο είναι 2D συμβολική μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία οκτάεδρου (d1). Η ερώτηση εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $z$  κατά  $180^\circ$ . Επιπλέον το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα διαφέρουν ως προς την προοπτική, διότι στο αρχικό ερέθισμα οι δύο δεσμοί είναι προσανατολισμένοι έξω από το επίπεδο της οθόνης και οι δύο πίσω από αυτήν, αλλά στο εξεταζόμενο ερέθισμα μόνο ένας δεσμός είναι προσανατολισμένος μπροστά από το επίπεδο της οθόνης και ένας πίσω από αυτήν.



**Εικόνα 56:** Στιγμιότυπο της 11<sup>ης</sup> ερώτησης που αφορά περιστροφή περί τον z άξονα κατά 180° με αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας a1 και εξεταζόμενο ερέθισμα γεωμετρίας d1.

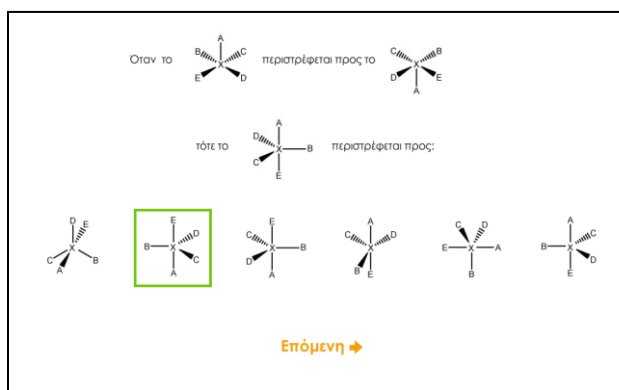
Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 17) παρουσιάζεται το πλήθος και το επί τοις εκατό ποσοστό των απαντήσεων των επιτυχόντων, για κάθε μια από τις έξι εναλλακτικές επιλογές της ερώτησης, για τους συμμετέχοντες της Ομάδας Ι στους οποίους εμφανίστηκε και το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (45,8%).

Πίνακας 17: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας Ι και ΙΙ στην 11 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 11 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 11 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 11 <sup>ης</sup> ερώτησης	1 (Σωστή)	2	3	4	5	6	
Ομάδα Ι (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	13 (54,2%)	0 (0,0%)	9 (37,5%)	1 (4,2%)	0 (0,0%)	1 (4,2%)	24 (100%)
Ομάδα ΙΙ (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	6 (66,7%)	0 (0%)	1 (11,1%)	2 (22,2%)	0 (0%)	0 (0,0%)	9 (100%)

Από τον Πίνακα 17 παρατηρείται ότι οι εννέα στους 24 (9/24) συμμετέχοντες επέλεξαν τη δομή στην τρίτη θέση ως σωστή, η οποία μοιάζει αρκετά με την σωστή

επιλογή που βρίσκεται στην πρώτη θέση, διότι έχει τον υποκαταστάτη A προς τα κάτω, όπως παρατηρείται και στο περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα. Αντίθετα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II τα πήγαν καλύτερα, διότι οι περισσότεροι επέλεξαν την σωστή επιλογή (33,3%).

Στην ίδια κατηγορία ερωτήσεων ανήκει η 12<sup>η</sup> ερώτηση όπου ένα στιγμιότυπο της παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 57), ενώ στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται η συχνότητα και το ποσοστό επί τοις εκατό των επιλογών των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή.



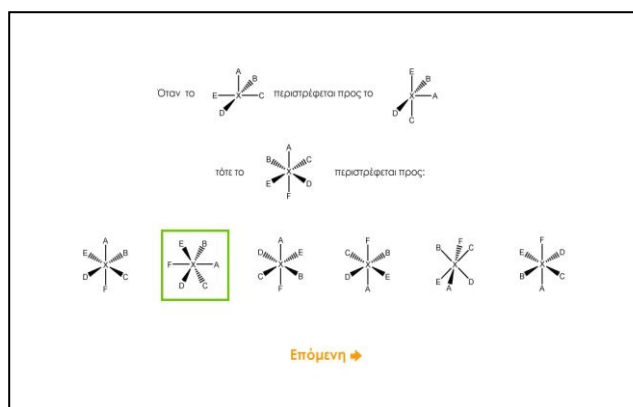
**Εικόνα 57:** Στιγμιότυπο της 12<sup>ης</sup> ερώτησης που αφορά νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον z άξονα κατά 180° με αρχικό ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας a1 και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας e1.

Πίνακας 18: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 12 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 12 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 12 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 12 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2 <b>(Σωστή)</b>	3	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	19 <b>(79,2%)</b>	3 (12,5%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (8,3%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	4 <b>(44,4%)</b>	5 (55,6%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	9 (100%)

Η νοητική διεργασία περιστροφής που εξετάζει η ερώτηση, αφορά περιστροφή αρχικού ερεθίσματος μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερεθίσματος μοριακής γεωμετρίας τριγωνικής διπυραμίδας (e1), γύρω τον άξονα z κατά  $180^\circ$ . Οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις (55,6%) από ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας I (20,8%).

Από τον Πίνακα 18 φαίνεται ότι οι απαντήσεις των συμμετεχόντων της Ομάδας II, μοιράστηκαν ανάμεσα στην σωστή επιλογή που βρίσκεται στην δεύτερη θέση και την λανθασμένη εναλλακτική επιλογή που βρίσκεται στην τρίτη θέση. Οι δύο αυτές επιλογές μοιάζουν αρκετά τόσο μεταξύ τους όσο και με το αρχικό περιστρεμμένο ερέθισμα διότι έχουν τον υποκαταστάτη A προς τα κάτω.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 58) μπορούμε να δούμε ένα στιγμιότυπο της 25<sup>ης</sup> ερώτησης. Η ερώτηση εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής ενός αρχικού ερεθίσματος μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (b1) γύρω από τον άξονα z κατά  $90^\circ$ . Παρατηρείται ότι το αρχικό ερέθισμα (τετραγωνική πυραμίδα) έχει διαφορετικό προσανατολισμό από το εξεταζόμενο (οκταεδρική δομή). Επιπλέον οι συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφάνισαν υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (41,7%) σε σχέση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (0,0%)



**Εικόνα 58:** Στιγμιότυπο της 25<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον z άξονα κατά  $90^\circ$  με αρχικό ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας b1 και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας c1.

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζεται η συχνότητα και το ποσοστό επί τοις εκατό των επιλογών των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή. Η σωστή επιλογή εμφανίζεται στην δεύτερη θέση στο στιγμιότυπο της ερώτησης και δεν μοιάζει με

καμία από τις πέντε άλλες εναλλακτικές επιλογές. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων της Ομάδας Ι μοιράστηκαν στις τέσσερις από τις έξι επιλογές της ερώτησης.

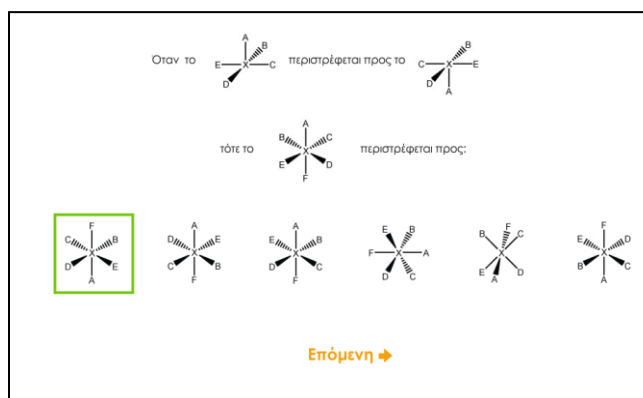
Ας σημειωθεί ότι η 25<sup>η</sup> ερώτηση είναι η πρώτη από την ομάδα των ερωτήσεων όπου γίνεται αλλαγή του άξονα περιστροφής. Από νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα x που εξετάζαν οι ερωτήσεις 19-24, στις ερωτήσεις 25-30 εξετάζεται η νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα z.

**Πίνακας 19:** Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας Ι και ΙΙ στην 25<sup>η</sup> ερώτηση.

Ερώτηση 25 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 25 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 25 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2 <b>(Σωστή)</b>	3	4	5	6	
Ομάδα Ι (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	2 (8,3%)	14 <b>(58,3%)</b>	0 (0,0%)	4 (16,7%)	4 (16,7%)	0 (0,0%)	24 (100%)
Ομάδα ΙΙ (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	9 <b>(100%)</b>	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	9 (100%)

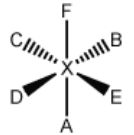
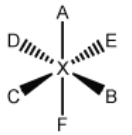
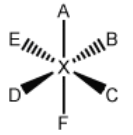
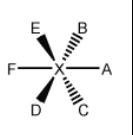
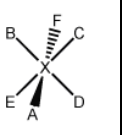
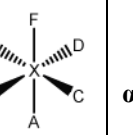
Από το στιγμιότυπό της 28<sup>ης</sup> ερώτησης (Εικόνα 59), προκύπτει ότι η ερώτηση εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά 180°, όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας b1, ενώ το εξεταζόμενο είναι μοριακή αναπαράσταση οκταεδρικής δομής c1. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα δεν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο.

Η 28<sup>η</sup> ερώτηση είναι η πρώτη από την ομάδα των ερωτήσεων όπου αλλάζει η γωνία περιστροφής (από 90° γίνεται 180°), ενώ ο άξονας περιστροφής και το αρχικό ερέθισμα παραμένουν τα ίδια.



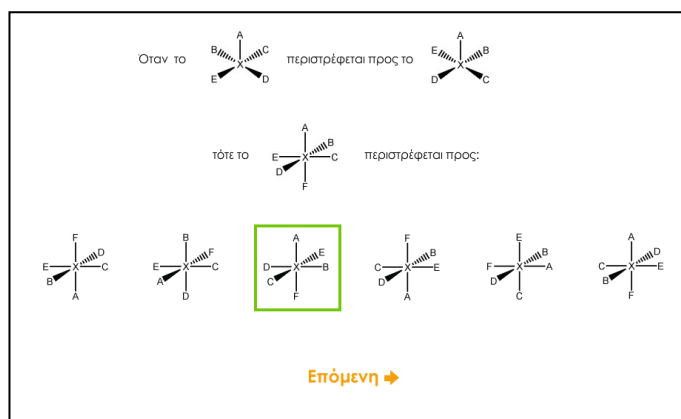
**Εικόνα 59:** Στιγμιότυπο της 28<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον z άξονα κατά 180° με αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας b1 και εξεταζόμενο ερέθισμα γεωμετρίας c1.

Από περαιτέρω ανάλυση των απαντήσεων των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή για την 28<sup>η</sup> ερώτηση, προκύπτει ο Πίνακας 20. Η σωστή επιλογή βρίσκεται στην πρώτη θέση. Η πλειοψηφία των φοιτητών και των δύο ομάδων, επέλεξαν την επιλογή στην πρώτη και έκτη θέση, οι οποίες μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους αλλά και με το περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα, διότι έχουν τον υποκαταστάτη A προς τα κάτω.

Πίνακας 20: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 28 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 28 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 28 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 28 <sup>ης</sup> ερώτησης	1 <b>(Σωστή)</b>	2	3	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	15 <b>(62,5%)</b>	1 (4,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	4 (16,7%)	4 (16,7%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	6 <b>(66,7%)</b>	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (33,3%)	9 (100%)

Ανάλυση των ερωτήσεων με αυξημένο ποσοστό λαθών όπου ο άξονας περιστροφής είναι ο y

Στην Εικόνα 60 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 14<sup>ης</sup> ερώτησης, ενώ στον Πίνακα 21 φαίνεται η συχνότητα των απαντήσεων των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή στη 14<sup>η</sup> ερώτηση.



Εικόνα 60: Στιγμιότυπο της 14<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας a1 και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας d1.

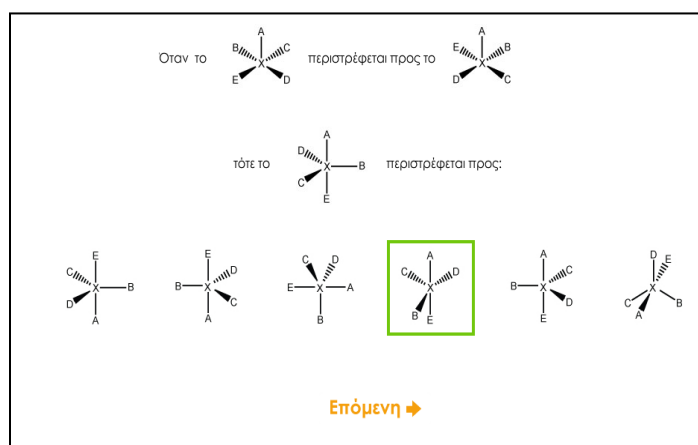
Πίνακας 21: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 14 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 14 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 14 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 14 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	<b>3 (Σωστή)</b>	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	1 (4,2%)	0 (0,0%)	<b>15 (62,5%)</b>	0 (0,0%)	1 (4,2%)	7 (29,2%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	<b>7 (77,1%)</b>	0 (0,0%)	1 (11,1%)	1 (11,1%)	9 (100%)

Από την Εικόνα 60 φαίνεται ότι το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1), ενώ το εξεταζόμενο είναι μοριακή αναπαράσταση οκταεδρικής δομής (d1). Η ερώτηση εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά  $90^\circ$ . Επιπλέον το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό τους στο χώρο.

Επιπλέον από τον Πίνακα 21 προκύπτει ότι οι εννέα στους εικοσιτέσσερις συμμετέχοντες (9/24) της Ομάδας I έδωσαν λάθος απάντηση (37,5%), ενώ η Ομάδα II εμφάνισε μικρότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (22,2%). Οι περισσότεροι συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες, επέλεξαν ως σωστή απάντηση την δομή στην θέση τρία που είναι η σωστή. Αρκετοί όμως επέλεξαν την δομή στην θέση έξι, η οποία μοιάζει περισσότερο από όλες τις άλλες επιλογές με την σωστή απάντηση, αλλά και με το περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα, διότι έχουν τον υποκαταστάση A προς τα επάνω.

Η 15<sup>η</sup> ερώτηση της οποίας ένα στιγμιότυπο φαίνεται στην Εικόνα 61, εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά  $90^\circ$ , όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1), ενώ το εξεταζόμενο είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τριγωνικής διπυραμίδας (e1). Επιπλέον το εξεταζόμενο ερέθισμα διαφέρει αρχικό, ως προς τον προσανατολισμό του στο χώρο.

Στην 15<sup>η</sup> ερώτηση οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν υψηλότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (55,6%) από ότι της Ομάδας I (37,5%).



**Εικόνα 61:** Στιγμιότυπο της 15<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά  $90^\circ$  με αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα γεωμετρίας τριγωνικής διπυραμίδας (e1).

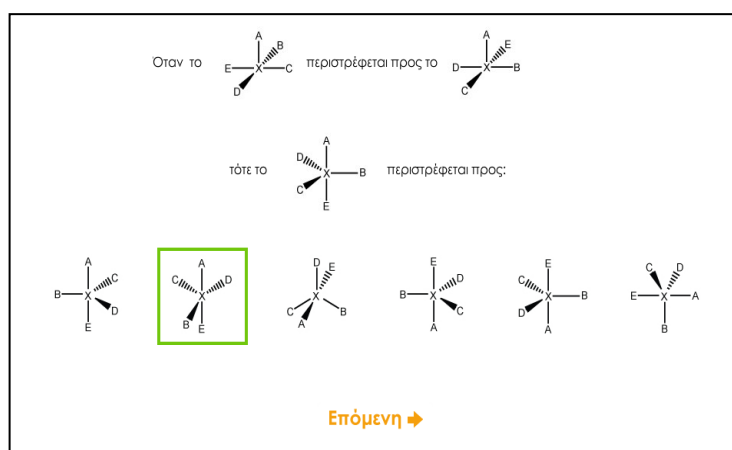
Ο Πίνακας 22 παρουσιάζει την συχνότητα και το ποσοστό των απαντήσεων ανά εναλλακτική επιλογή της 15<sup>ης</sup> ερώτησης. Η πλειοψηφία των φοιτητών επέλεξε την



επιλογή στην τέταρτη θέση που είναι η σωστή και στην πέμπτη θέση, οι οποίες παρατηρείται ότι μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους, αλλά και με περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα διότι ο υποκαταστάτης A μετά την νοητική περιστροφή δεν άλλαξε θέση.

Πίνακας 22: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 15 <sup>η</sup> ερώτηση							
Ερώτηση 15 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 15 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 15 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	3	<b>4 (Σωστή)</b>	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	1 (4,2%)	0 (0,0%)	1 (4,2%)	<b>15 (62,5%)</b>	6 (25%)	1 (4,2%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	1 (11,1%)	1 (11,1%)	<b>4 (44,4%)</b>	2 (22,2%)	1 (11,1%)	9 (100%)

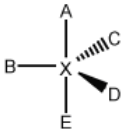
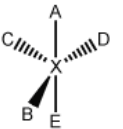
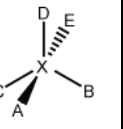
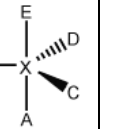
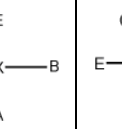
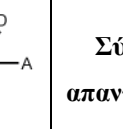
Η εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 62) παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο της 33<sup>ης</sup> ερώτησης.



**Εικόνα 62:** Στιγμιότυπο της 33<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά 90° με αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και εξεταζόμενο ερέθισμα γεωμετρίας τριγωνικής διπυραμίδας (e1).

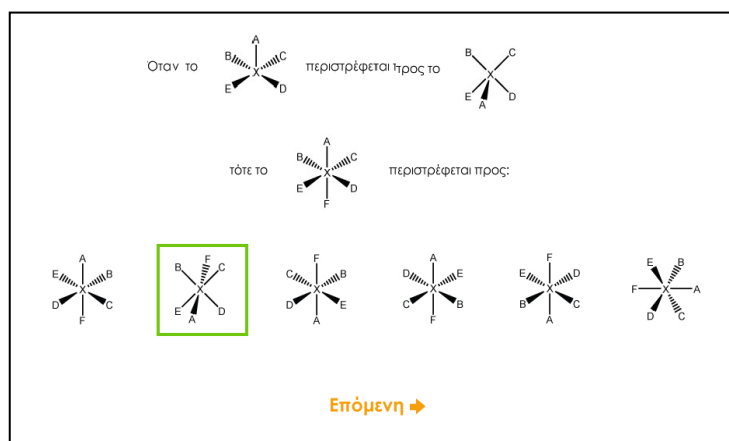
Φαίνεται ότι το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1), ενώ το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τριγωνικής δυπιραμίδας (e1). Η ερώτηση εξετάζει νοητική διεργασία περιστροφής γύρω από τον άξονα y κατά 90°.

Στον Πίνακα 23 παρουσιάζεται η συχνότητα και το ποσοστό των επιλογών των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή της εξεταζόμενης ερώτησης. Παρατηρείται ότι οι περισσότεροι συμμετέχοντες της Ομάδας I επέλεξαν την επιλογή στην πρώτη θέση και στην δεύτερη (σωστή επιλογή). Από τις εναλλακτικές επιλογές αυτή που μοιάζει περισσότερο με την σωστή βρίσκεται στην πρώτη θέση, διότι και στις δύο υποκαταστάτες A δεν άλλαξε θέση, όπως και στο αρχικό ερέθισμα μετά την νοητική περιστροφή του. Ίσως αυτή την παρατήρηση να έκαναν αρκετοί από τους συμμετέχοντες και για αυτό να επέλεξαν μια από τις δύο αυτές επιλογές. Όσο αφορά τους συμμετέχοντες της Ομάδας II, αυτών οι απαντήσεις μοιράστηκαν ανάμεσα στις επιλογές της πρώτης και της δεύτερης θέσης και μόνο σε αυτές, με τους περισσότερους να επιλέγουν την επιλογή της δεύτερης θέσης που είναι η σωστή.

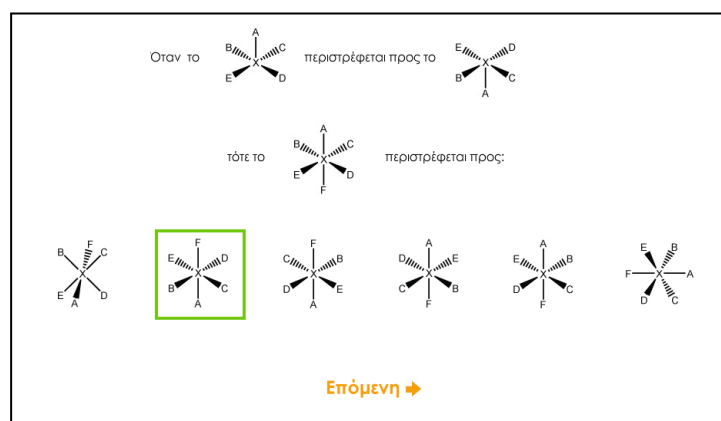
Πίνακας 23: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 33 <sup>η</sup> ερώτηση							
Ερώτηση 33 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 33 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 33 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	<b>2</b> (Σωστή)	3	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	4 (16,7%)	<b>15</b> ( <b>62,5%</b> )	2 (8,3%)	0 (0,0%)	1 (4,2%)	2 (8,3%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 9) Συχνότητα επιλογής (%)	3 (33,3%)	<b>6</b> ( <b>66,7%</b> )	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	9 (100%)

*Ερωτήσεις με χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων*

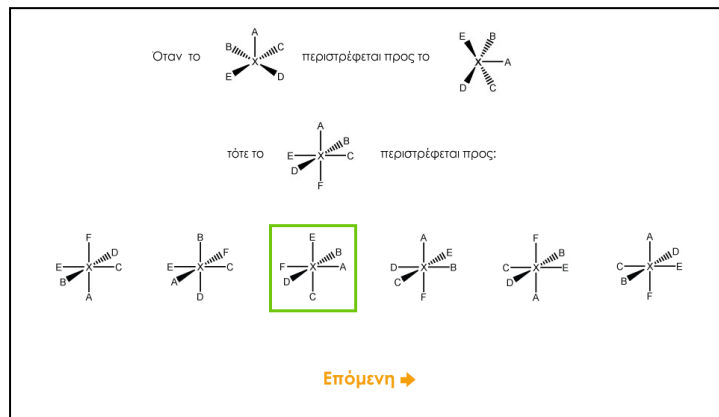
Από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I στην 1<sup>η</sup>, 8<sup>η</sup>, 9<sup>η</sup>, 16<sup>η</sup>, 20<sup>η</sup> και 29<sup>η</sup> ερώτηση μόνο ένας συμμετέχοντας επέλεξε λάθος επιλογή, ενώ στην 4<sup>η</sup> ερώτηση όλοι οι συμμετέχοντες απάντησαν σωστά. Στην Ομάδα II οι 15 από τις 36 ερωτήσεις εμφάνισαν μηδενικό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Τέτοιες ερωτήσεις είναι οι 1-3, 7-9, 19-21, 22, 23 25, 27, 29, 34. Εκτός από τις ερωτήσεις που διερευνήθηκαν ήδη παραπάνω, στις υπόλοιπες ερωτήσεις πέτυχαν πολύ χαμηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων. Άρα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II πέτυχαν καλύτερες επιδόσεις από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν στιγμιότυπα ερωτήσεων με χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και της Ομάδας II (Εικόνες 63-69).



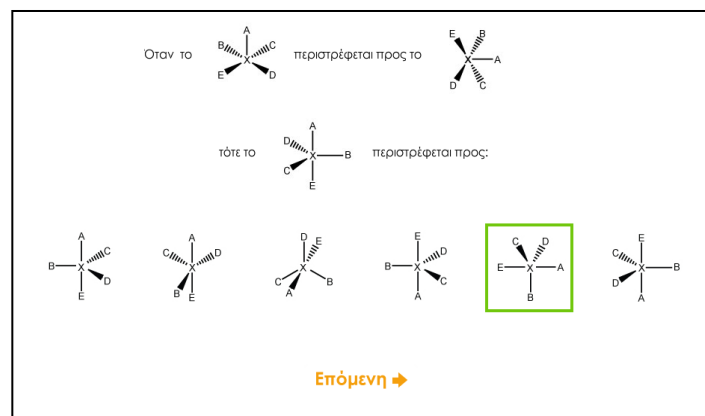
**Εικόνα 63:** Στιγμιότυπο της 1<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (c1).



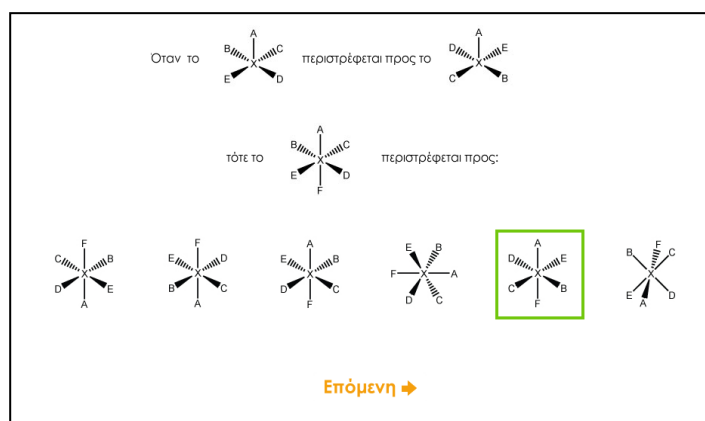
**Εικόνα 64:** Στιγμιότυπο της 4<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά 180° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (c1).



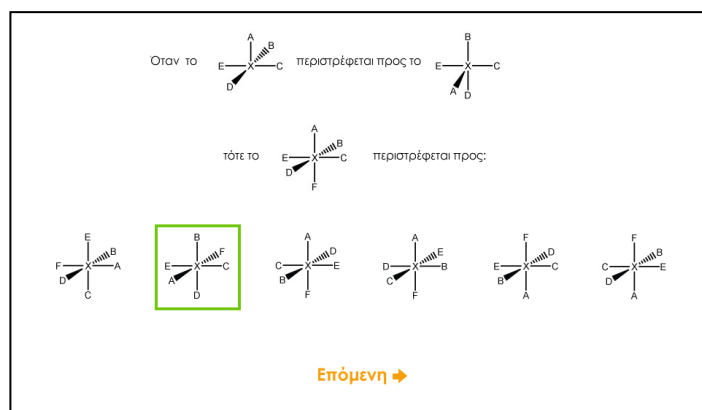
**Εικόνα 65:** Στιγμιότυπο της 8<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (d1).



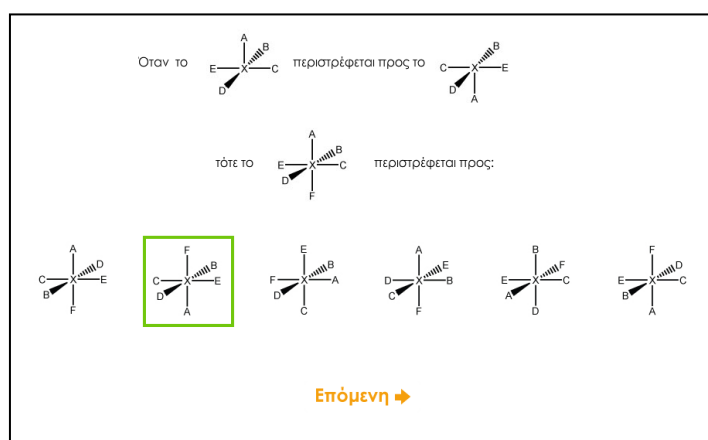
**Εικόνα 66:** Στιγμιότυπο της 9<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής τριγωνικής διπυραμίδας (e1).



**Εικόνα 67:** Στιγμιότυπο της 16<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά 180° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (c1).



**Εικόνα 68:** Στιγμιότυπο της 20<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (d1).

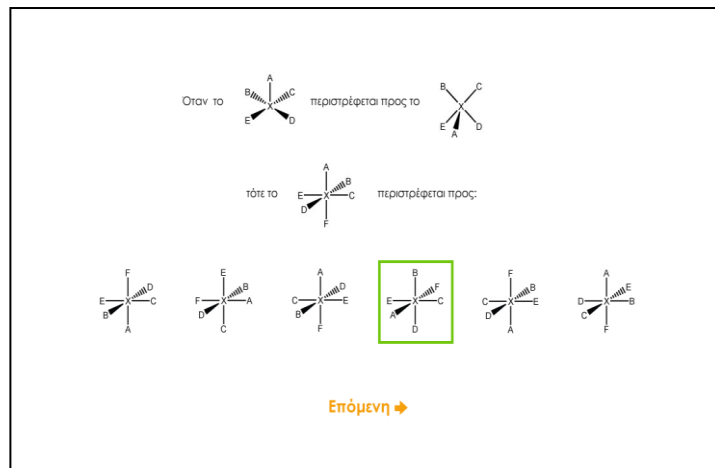


**Εικόνα 69:** Στιγμιότυπο της 29<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά 180° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (d1).

Παρατηρείται από τις Εικόνες 63-69 που αντιστοιχούν στις ερωτήσεις με το χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων ότι, στις ερωτήσεις όπου η μοριακή δομή του αρχικού ερεθίσματος έχει τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο με τη μοριακή δομή του εξεταζόμενου, οι συμμετέχοντες πέτυχαν καλύτερες επιδόσεις. Αντίθετα από την παρατήρηση των στιγμιότυπων των ερωτήσεων με τα αυξημένα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων, παρατηρείται ότι η μοριακή δομή του αρχικού και του εξεταζόμενου ερεθίσματος έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο.

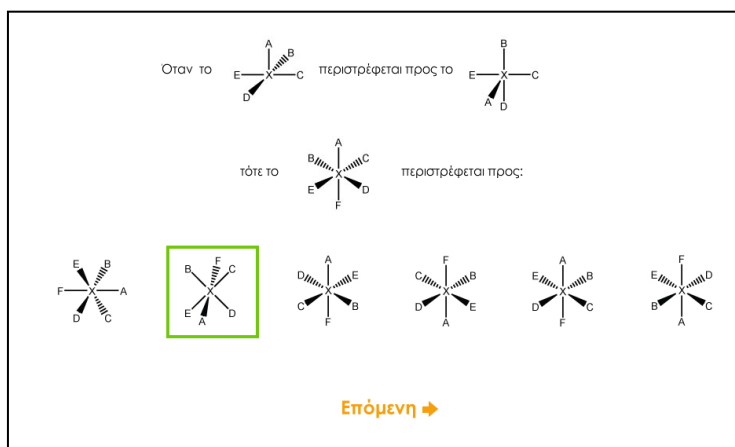
Αν συγκρίνουμε την 11<sup>η</sup> ερώτηση ή την 14<sup>η</sup> ερώτηση με την 2<sup>η</sup> ερώτηση, της οποίας ένα στιγμιότυπο παρουσιάζεται στην Εικόνα 70, που εμφάνισε ελάχιστο αριθμό λαθών, προκύπτει ότι αναφέρονται όλες στην περιστροφή του ίδιου αρχικού και του ίδιου εξεταζόμενου ερεθίσματος. Ο άξονας και η γωνία περιστροφής όμως διαφέρουν. Ο άξονας περιστροφής στην 2<sup>η</sup> ερώτηση είναι ο x και η γωνία περιστροφής είναι 90°.

Αντίθετα οι περιπτώσεις περιστροφής γύρω από τον άξονα  $y$  κατά  $90^\circ$  (14<sup>η</sup> ερώτηση) και γύρω από τον άξονα τον  $z$  κατά  $180^\circ$  (11<sup>η</sup> ερώτηση) εμφανίζουν πολύ υψηλά ποσοστά λαθών. Άρα πιθανόν ο άξονας και η γωνία περιστροφής, ήταν ένας παράγοντας δυσκολίας στις ερωτήσεις αυτές.



**Εικόνα 70:** Στιγμιότυπο της 2<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $x$  κατά  $90^\circ$  με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής δομής οκτάεδρου (d1).

Συγκρίνοντας την 25<sup>η</sup>, 28<sup>η</sup> (υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων) και την 19<sup>η</sup> ερώτηση (χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων) (Εικόνα 71).



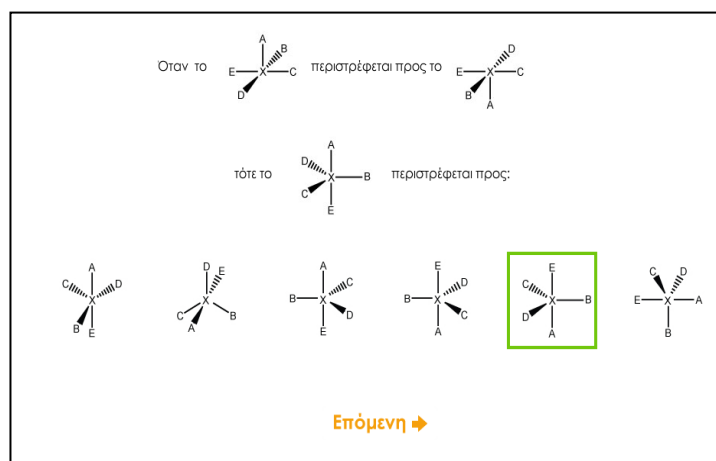
**Εικόνα 71:** Στιγμιότυπο της ερώτησης 19 που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $x$  κατά γωνία  $90^\circ$  όπου ο υποκαταστάτης  $A$  βρίσκεται στην ίδια θέση στην σωστή επιλογή και στο περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα.

Παρατηρείται ότι το αρχικό ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και το εξεταζόμενο ερέθισμα μοριακής γεωμετρίας οκτάεδρου (c1) αυτών των ερωτήσεων, έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο. Στην 19<sup>η</sup> ερώτηση η σωστή απάντηση διαφέρει από τις άλλες εναλλακτικές επιλογές ως προς τον

προσανατολισμό της στο χώρο, αλλά μοιάζει αρκετά με το περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα, διότι έχουν τον υποκαταστάτη A στην ίδια θέση. Επιπλέον η ερώτηση εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά  $90^\circ$ .

Από την σύγκριση της 24<sup>ης</sup> ερώτησης, που εμφανίζει χαμηλό ποσοστό λαθών και της 33<sup>ης</sup> ερώτησης, που εμφανίζει υψηλό αριθμό λαθών, προκύπτει ότι οι δύο ερωτήσεις έχουν το ίδιο αρχικό και εξεταζόμενο ερέθισμα, μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας και τριγωνικής διπυραμίδας αντίστοιχα.

Η 24<sup>η</sup> ερώτηση αφορά νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά  $180^\circ$ . Η μόνη από τις επιλογές που μοιάζει περισσότερο με του περιστρεμμένου αρχικού ερεθίσματος (Εικόνα 72) βρίσκεται στην πέμπτη θέση, διότι έχει τον υποκαταστάτη A στην ίδια θέση.



**Εικόνα 72:** Στιγμιότυπο της 24<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα x κατά  $180^\circ$  όπου ο υποκαταστάτης A βρίσκεται στην ίδια θέση στην σωστή επιλογή και στο περιστρεμμένο αρχικό ερέθισμα.

Γενικά η μελέτη των ερωτήσεων, μεταξύ των δύο μεγάλων κατηγοριών ερεθισμάτων a1 (ερωτήσεις 1-18) και b1 (ερωτήσεις 19-36), οδήγησε στο πιθανό συμπέρασμα, ότι η διαφορά στην προοπτική μεταξύ της μοριακής δομής του αρχικού και εξεταζόμενου ερεθίσματος μάλλον είναι καθοριστική για την εκτέλεση της νοητικής διεργασίας και την επιλογή της σωστής απάντησης σε συνδυασμό με το είδος της περιστροφής.

Ίσως να προσπαθούν οι συμμετέχοντες να αντιστοιχίσουν τις θέσεις των υποκαταστατών στο εξεταζόμενο ερέθισμα, με το αρχικό ερέθισμα το οποίο έχει περιστραφεί. Αλλά εξαιτίας της διαφορετικής προοπτικής των μοριακών αναπαραστάσεων να αποτυχαίνουν στην προσπάθειά τους αυτή. Αυτό τότε θα σήμαινε ότι δεν κάνουν νοητική περιστροφή ακολουθώντας ολιστική στρατηγική, αλλά

προσπαθούν να πετύχουν μια απλή αντιστοίχιση ακολουθώντας αναλυτική στρατηγική, ειδικά σε περιπτώσεις που είναι αρκετά εμφανής (πχ 11<sup>η</sup> ερώτηση). Ακόμα σε αρκετές περιπτώσεις, οι ελάχιστες ομοιότητες, όσο αφορά την γεωμετρία τους, του αρχικού με το εξεταζόμενο ερέθισμα, οδήγησαν τους συμμετέχοντες σε λάθος επιλογή.

Επιπλέον ο άξονας περιστροφής φαίνεται να παίζει και αυτός καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της σωστής απάντησης για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων, διότι όταν οι άξονες περιστροφής είναι ο z και ο y, φαίνεται πως οι συμμετέχοντες δυσκολεύονται περισσότερο να πραγματοποιήσουν την νοητική περιστροφή, διότι εμφανίζουν μεγάλο ποσοστά λαθών στο σύνολο των λαθών ανά ομάδα. Για παράδειγμα η περιστροφή γύρω από τον άξονα y κατά 90° με αρχικό ερέθισμα μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (b1), εμφανίζει ποσοστό λαθών 12,38% στην Ομάδα I και 14,28% στην Ομάδα II, ενώ η περιστροφή γύρω από τον άξονα z κατά 180° με μοριακή δομή αρχικού ερεθίσματος τετραγωνικής πυραμίδας (a1) εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων σε όλες τις κατηγορίες περιστροφών, με 13,45% στην Ομάδα I και 21,42% στην Ομάδα II (Πίνακας 16). Αντίθετα όλες οι περιστροφές που σχετίζονται με τον άξονα x εμφάνισαν σχετικά χαμηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

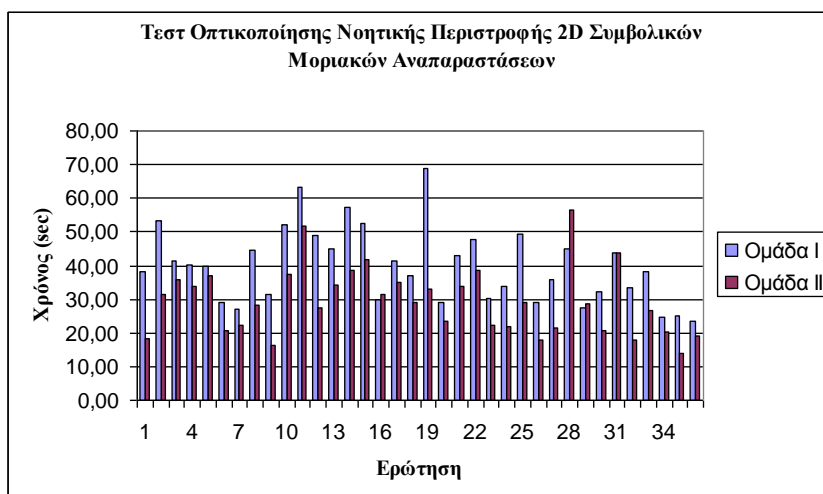
### 5.2.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 4), παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι απόκρισης ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικών Κατοπτρισμών 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων. Επιπλέον στον Πίνακα 24 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ανά ερώτηση σε sec καθώς και η μικρότερη, μεγαλύτερη τιμή των χρόνων απόκρισης, για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και Ομάδας II.

Από το Διάγραμμα 4 και τον Πίνακα 24, προκύπτει ότι οι ερωτήσεις με τα μεγαλύτερα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων, όπως είναι η 11<sup>η</sup>, η 14<sup>η</sup> και η 15<sup>η</sup>, για την Ομάδα I απαντήθηκαν σε σχετικά υψηλούς χρόνους απόκρισης. Επιπλέον η 19<sup>η</sup> ερώτηση εμφάνισε τον υψηλότερο μέσο χρόνο απόκρισης από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Αντίθετα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II φαίνεται να διαχειρίστηκαν καλύτερα τον χρόνο τους και εμφάνισαν μικρότερους μέσους χρόνους απόκρισης ανά ερώτηση σε σχέση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, εκτός από την 28<sup>η</sup> ερώτηση όπου ο μέσος



χρόνος απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας II ήταν μεγαλύτερος από της Ομάδας I.



**Διάγραμμα 4:** Μέσοι χρόνοι απόκρισης σε sec ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 9 συμμετέχοντες της Ομάδας II .

**Πίνακας 24:** Ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή και τυπική απόκλιση σε sec ανά ερώτηση για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 9 της Ομάδας II.

Ερώτηση	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα I (n=24)	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα II (n=9)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα I (n=24)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα II (n=9)	Μέση Τιμή Ομάδα I (n=24)	Μέση Τιμή Ομάδα II (n=9)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα I (n=24)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα II (n=9)
1	12,20	93,34	80,11	284,70	38,22	18,42	19,82	6,83
2	19,57	110,98	146,19	575,28	53,15	31,36	35,19	17,80
3	0,33	211,82	95,33	642,82	41,30	35,69	23,50	16,13
4	15,87	173,53	101,59	552,14	40,06	33,67	23,99	12,92
5	0,11	176,15	111,35	581,20	39,71	37,07	23,69	14,98
6	9,41	149,70	50,07	297,18	28,87	20,76	11,19	5,07
7	0,11	93,76	58,66	534,93	27,12	22,18	14,25	12,96
8	10,25	123,69	135,65	952,85	44,58	28,29	31,18	25,83
9	7,67	125,36	104,17	214,24	31,40	16,41	21,84	2,66
10	14,67	146,19	171,00	719,97	52,11	37,29	36,44	18,19
11	21,88	245,99	267,18	1002,56	63,21	51,73	49,81	24,17
12	12,96	140,58	117,04	421,51	48,85	27,54	27,23	9,79
13	15,92	159,48	131,73	847,25	44,88	34,20	24,86	22,58
14	19,13	141,93	144,45	806,53	57,48	38,54	26,95	22,26
15	12,70	107,24	153,46	682,69	52,68	41,74	35,72	19,94

16	15,60	113,86	64,98	913,89	29,80	31,56	11,71	25,88
17	11,85	171,67	162,37	651,09	41,21	34,94	28,74	18,97
18	17,65	156,17	69,95	527,18	36,95	29,11	16,16	11,88
19	15,40	197,97	160,87	607,01	68,91	32,89	43,44	13,68
20	16,09	134,46	61,57	340,34	29,04	23,60	10,22	6,98
21	11,63	111,22	111,30	571,89	43,08	33,99	24,79	16,02
22	9,56	184,78	129,51	748,26	47,80	38,80	31,04	17,58
23	10,67	156,28	85,97	354,66	30,38	22,21	15,27	6,88
24	12,36	152,27	130,67	295,31	33,75	21,83	24,24	3,98
25	14,75	136,69	141,17	519,79	49,53	29,17	32,66	11,03
26	11,98	100,97	104,77	344,18	29,15	18,10	19,67	8,08
27	13,68	107,98	106,20	523,21	35,72	21,52	25,11	12,51
28	19,43	307,44	103,24	1025,89	44,94	56,64	18,62	21,46
29	12,80	210,92	60,09	475,90	27,61	28,53	12,31	8,20
30	8,00	91,82	67,51	366,18	32,22	20,84	16,57	10,41
31	9,09	179,94	120,43	941,99	43,70	43,80	27,96	25,68
32	13,73	39,99	73,68	274,52	33,26	17,77	16,56	6,57
33	4,51	26,40	193,41	674,05	38,24	26,51	38,24	19,65
34	2,59	13,26	46,23	307,30	24,55	20,16	11,29	10,91
35	2,13	8,78	94,73	306,84	25,14	14,12	17,11	10,32
36	1,83	4,23	49,09	353,62	23,52	19,15	12,75	13,02

Στην Ομάδα I, 21 από τις 36 ερωτήσεις (21/36) εμφανίζουν χρόνους άνω των 34 sec, που είναι κατά μέσο όρο ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να απαντηθεί κάθε ερώτηση του τεστ, δεδομένου ότι ο συνολικός χρόνος για τον οποίο ενημερώθηκαν προφορικά οι συμμετέχοντες είναι 20 min.

Επιπλέον στις τελευταίες ερωτήσεις οι μέσοι χρόνοι απόκρισης δεν είναι υψηλοί. Πιθανόν οι συμμετέχοντες ή να κουράστηκαν και να μην χρησιμοποίησαν αρκετό χρόνο για την απάντηση των τελευταίων ερωτήσεων ή να κατανάλωσαν περισσότερο χρόνο για την απάντηση των ερωτήσεων της πρώτης κατηγορίας (ερωτήσεις 1-18), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα των μέσων χρόνων απόκρισης, με αποτέλεσμα ο υπολειπόμενος χρόνος να μην ήταν αρκετός. Οι 14 από τις 21 ερωτήσεις (14/21) που ξεπέρασαν τον μέσο όρο του χρόνου απόκρισης ανήκουν στην πρώτη κατηγορία ερωτήσεων (ερωτήσεις 1-18).

Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι ο μέσος χρόνος απόκρισης της ερώτησης 19, εμφανίζεται να είναι ο μεγαλύτερος όλων. Ας σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ερώτηση είναι η πρώτη από την κατηγορία ερωτήσεων που το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή

δομή με γεωμετρία τετραγωνική πυραμίδα (b1). Αυτή η απότομη αλλαγή ερεθίσματος, πιθανόν να δυσκόλεψε τους συμμετέχοντες, διότι είχαν συνηθίσει να εφαρμόζουν στις 18 ερωτήσεις της πρώτης κατηγορίας, διεργασίες νοητικής περιστροφής με την χρήση αρχικού ερεθίσματος μοριακής δομής τετραγωνικής πυραμίδας (a1).

Στην Ομάδα II, 11 ερωτήσεις από τις 36 (11/36) ξεπερνούν τα 34 sec, που είναι ο μέσος όρος του χρόνου για την απάντηση της κάθε ερώτησης του τεστ. Στο μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των ερωτήσεων, εκτός από την 15<sup>η</sup> ερώτηση, οι συμμετέχοντες απάντησαν ως επί το πλείστον σωστά. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος που απαιτήθηκε για την επίλυση των ερωτήσεων, ήταν αρκετός προκειμένου να δοθεί η σωστή απάντηση.

Από μια περαιτέρω ανάλυση του Πίνακα 24, προκύπτουν αρκετά συμπεράσματα για την κατανομή του μέσου χρόνου απόκρισης των συμμετεχόντων ανά ερώτηση. Η 8<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=44,58, SD=31,18). Αλλά και οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφανίζουν σχετικά υψηλό μέσο όρο απόκρισης. (Mean=28,29, SD=25,83). Επιπλέον και οι τυπικές αποκλίσεις είναι αρκετά υψηλές και στις δύο ομάδες. Ας τονιστεί ότι η ερώτηση εμφανίζει χαμηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I: 4,2%, Ομάδα II: 0,0%).

Στην 11<sup>η</sup> ερώτηση, εμφανίζεται υψηλός μέσος χρόνος απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας I (Mean=63,21, SD=41,81) και της Ομάδας II (Mean=51,73, SD=24,57). Οι υψηλές τυπικές αποκλίσεις δηλώνουν ότι οι μέσοι χρόνοι απόκρισης αποκλίνουν αρκετά από την μέση τιμή της κατανομής. Η ερώτηση εμφανίζει υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:45,8% και Ομάδα II:33,3%).

Στην 12<sup>η</sup> ερώτηση οι συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφανίζουν υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης (Mean=48,85, SD=27,23), σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας II που εμφανίζουν αρκετά μικρότερο χρόνο απόκρισης (Mean=27,54, SD=9,79), αλλά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (55,6%).

Η 14<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=57,48, SD=26,95). Αντίθετα ο μέσος χρόνος απόκρισης της Ομάδας II είναι σχετικά μικρός (Mean=38,54, SD=22,26). Οι τυπικές αποκλίσεις και των δύο ομάδων είναι αρκετά υψηλές που σημαίνει ότι κάποιοι συμμετέχοντες απαντούσαν πιο σύντομα και άλλοι πιο αργά. Ας σημειωθεί ότι η ερώτηση εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (37,5%).

Η 15<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει μεγάλο μέσο χρόνο απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=52,68, SD=35,72) και της Ομάδας II (Mean=41,74, SD=19,94). Η τυπική απόκλιση της Ομάδας I είναι αρκετά μεγάλη και μάλιστα μεγαλύτερη από της Ομάδας II. Επομένως κάποιοι συμμετέχοντες απαντούσαν σε μικρό χρονικό διάστημα και κάποιοι αργούσαν να απαντήσουν. Επιπλέον η 15<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I: 37,5%, Ομάδα II: 55,6%).

Η 19<sup>η</sup> ερώτηση παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, διότι αν και δεν είναι από τις ερωτήσεις με υψηλό ποσοστό λαθών και στις δύο ομάδες συμμετεχόντων (για την Ομάδα I: 12,5% , Ομάδα II: 0%), εντούτοις όμως εμφανίζει τον υψηλότερο μέσο χρόνο απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (Mean=68,91, SD=43,44) Το γεγονός ότι η ερώτηση αποτελεί την πρώτη ερώτηση της δεύτερης κατηγορίας ερωτήσεων (ερωτήσεις 19-36) ίσως έδρασε καταλυτικά στην αύξηση του μέσου χρόνου απόκρισης. Αντίθετα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν χαμηλό μέσο χρόνο απόκρισης (Mean=32,89), αλλά σχετικά χαμηλή τυπική απόκλιση (SD=13,68).

Η 25<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης (Mean=49,53, SD=32,66) για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, οι οποίοι εμφάνισαν και αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (41,7%). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τυπική απόκλιση είναι υψηλή προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ερώτηση καθυστέρησε αρκετά κάποιους από τους συμμετέχοντες, πιθανόν λόγω του βαθμού δυσκολίας της.

Η 28<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει μεγάλο μέσο χρόνο απόκρισης αλλά σχετικά χαμηλή τυπική απόκλιση (Mean=44,94, SD=18,62) για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν τον μεγαλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης όλων των ερωτήσεων (Mean=56,64, SD=21,46). Αλλά και η τυπική απόκλιση για την Ομάδα II είναι υψηλή. Επομένως η 28<sup>η</sup> ερώτηση πιθανόν να καθυστέρησε τους συμμετέχοντες της ομάδας. Ας σημειωθεί ότι το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων των φοιτητών στην συγκεκριμένη ερώτηση ήταν σχετικά υψηλό (Ομάδα I: 37,5%, Ομάδα II:33,3%).

Από τις τελευταίες ερωτήσεις του τεστ ενδιαφέρον παρουσιάζει η 33<sup>η</sup> ερώτηση όπου οι συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφανίζουν υψηλό μέσο χρόνο απόκρισης (Mean=38,24, SD=38,24), σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (Mean=26,51, SD=19,65). Επιπλέον η τυπική απόκλιση της Ομάδας I εμφανίζεται αρκετά υψηλή. Η ερώτηση εμφανίζει σχετικά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:37,5% και Ομάδα II:33,3%).

Στις τελευταίες ερωτήσεις του τεστ (34-36), οι συμμετέχοντες της Ομάδας I και της Ομάδας II εμφανίζουν μικρούς μέσους χρόνους απόκρισης αλλά σχετικά μεγάλη τυπική απόκλιση. Επομένως πιθανόν κάποιοι συμμετέχοντες υπό την πίεση του χρόνου, διότι ο υπολειπόμενος χρόνος δεν ήταν αρκετός, να βιάστηκαν να απαντήσουν. Ας σημειωθεί ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας II πέτυχαν καλύτερα αποτελέσματα, λιγότερες λανθασμένες απαντήσεις από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, σε αυτές τις τελευταίες ερωτήσεις του τεστ.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι, οι συμμετέχοντες της Ομάδας I, στους οποίους δεν επιβλήθηκε χρονικός περιορισμός κατά μέσο όρο ξεπέρασαν τον χρόνο των 20 min. Ενώ από τους συμμετέχοντες της Ομάδας II κατάφεραν οι εννέα από τους 13 να ολοκληρώσουν το τεστ με επιτυχία στο χρονικό πλαίσιο που τους επιβλήθηκε. Γενικά, οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφανίζουν μικρότερους μέσους χρόνους απόκρισης από την Ομάδα I.

Ακόμα παρατηρείται ότι οι περισσότερες ερωτήσεις με αυξημένους μέσους χρόνους απόκρισης, εμφανίζονται στην πρώτη κατηγορία ερωτήσεων (1-18) όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή δομή με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) εμφανίζονται λιγότερες ερωτήσεις με αυξημένα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων. Πιθανόν οι δυσκολίες που αναφέρθηκαν σχετικά με τον προσανατολισμό του αρχικού και του εξεταζόμενου ερεθίσματος, σε συνδυασμό με τον άξονα και την γωνία περιστροφής, καθώς και το γεγονός ότι ήταν οι πρώτες ερωτήσεις, να είχαν ως αποτέλεσμα την μη σωστή διαχείριση του χρόνου από τους συμμετέχοντες. Ενώ στην δεύτερη κατηγορία ερωτήσεων (19-36) εμφανίζονται ερωτήσεις με υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων, περισσότερες στους συμμετέχοντες της Ομάδας I από της Ομάδας II, αλλά λιγότερες ερωτήσεις με υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης και στις δύο ομάδες.

Ολοκληρώνοντας την διερεύνηση των επιδόσεων και των μέσων χρόνων απόκρισης και των δύο ομάδων συμμετεχόντων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας II πέτυχαν πολύ καλύτερα αποτελέσματα ανά ερώτηση (εμφάνισαν μικρότερα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων), παρά του ότι χρειάστηκαν λιγότερο χρόνο για την συμπλήρωσή του τεστ.

Επίσης από τις κατανομές των χρόνων των ερωτήσεων που εμφάνισαν αρκετά λάθη και στις δύο ομάδες, φαίνεται ότι το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι πολύ μικρότερο στην κατανομή των τιμών της Ομάδας II. Ακόμα, παρατηρείται ότι στις

τρεις τελευταίες ερωτήσεις, οι συμμετέχοντες και των δύο Ομάδων απάντησαν σε χρόνο κάτω από τα 20 sec (μέσος χρόνος απόκρισης ανά ερώτηση για το τεστ). Μια πιθανή αιτία μπορεί να είναι ότι, κάποιοι συμμετέχοντες βιάστηκαν να απαντήσουν λόγω της πίεσης του χρόνου. Μια άλλη αιτία πιθανόν να είναι η κούραση, διότι ίσως οι ερωτήσεις τους φάνηκαν αρκετές, και έτσι να αναγκάστηκαν να απαντήσουν πιο γρήγορα, επιλέγοντας τις περισσότερες φορές λάθος απάντηση. Τέλος ο συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του τεστ, φαίνεται ότι επαρκεί για την συμπλήρωση των 36 ερωτήσεων του.

### **5.2.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων»**

Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε τον τρόπο που απαντούσαν (χρόνος απόκρισης) οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», χρησιμοποιήθηκε One Way Anova ανάλυση, η οποία συνέκρινε τον χρόνο απόκρισης του κάθε συμμετέχοντα στο τεστ. Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα (Ομάδα I χωρίς χρονικό περιορισμό και Ομάδα II με χρονικό περιορισμό), ενώ η εξαρτημένη ήταν ο χρόνος απόκρισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο τεστ αυτό ο χρόνος απόκρισης, διέφερε σημαντικά σύμφωνα με τον παράγοντα ομάδα (I, II),  $[F(1,35) = 31,044, p = .0001]$ . Συγκεκριμένα η ομάδα που δεν είχε χρονικό περιορισμό (Ομάδα I) (Mean=1432,24, Std=250,11), καθυστέρησε σημαντικά περισσότερο από την Ομάδα II (Mean=733,92, Std=516,18), η οποία είχε χρονικό περιορισμό.

Επίσης στην προσπάθεια να διερευνηθεί αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε το πλήθος των σωστών απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ίδιο τεστ, χρησιμοποιήθηκε η One Way Anova ανάλυση, που συνέκρινε το σκορ του κάθε συμμετέχοντα ανά ομάδα. Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα (Ομάδα I ή Ομάδα II), ενώ η εξαρτημένη ήταν το πλήθος των σωστών απαντήσεων. Η ανάλυση έδειξε ότι σε αυτό το τεστ δεν διέφερε σημαντικά το πλήθος των σωστών απαντήσεων σε κάθε ομάδα  $[F(1,31) = 2,150, p = .153]$ .

Ακόμα ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της ερώτησης αν ο άξονας περιστροφής (x, y, z), η γωνία περιστροφής (90°, 180°), η γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος (a1, b1), καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων επηρέασαν τον χρόνο

απόκρισης και το πλήθος των σωστών απαντήσεων και στις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

Πρώτα θα αναλυθεί το ερώτημα αν οι παραπάνω παράγοντες έπαιξαν ρόλο στον τρόπο που απαντούσαν (μέσος χρόνος απόκρισης) κάθε ερώτηση, οι συμμετέχοντες της Ομάδας I. Η ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 3(άξονας: x, y, z) X 2(γωνία: 90°, 180°) X 2(γεωμετρία: a1, b1) Ανονα, με εξαρτημένη μεταβλητή τον μέσο χρόνο απόκρισης κάθε ερώτησης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η γωνία έπαιξε στατιστικά σημαντικό ρόλο στον χρόνο απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας I [ $F(1,2) = 28,902$ ,  $p = .033$ ,  $\eta^2 = .935$ ]. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το Sidak post hoc tests, οι συμμετέχοντες αυτής της ομάδας καθυστερούσαν περισσότερο να απαντήσουν όταν η γωνία περιστροφής ήταν 90° (Mean=42,30, Std=2,7), σε σχέση με την γωνία των 180° (Mean=37,26, Std=2,97),  $p = .033$ .

Επίσης η αλληλεπίδραση άξονα και γωνίας περιστροφής, επηρέασαν τον μέσο χρόνο απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας I, στατιστικά σημαντικά [ $F(2,4) = 124,510$ ,  $p = .0001$ ,  $\eta^2 = .984$ ]. Προκειμένου να ερευνησουμε πιο συγκεκριμένα τους άξονες και τις γωνίες που επηρέασαν τον μέσο χρόνο απόκρισης, χρησιμοποιήθηκαν Planned Comparisons για κάθε γωνία περιστροφής και κάθε άξονα χωριστά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στον άξονα x καθυστερούσαν σημαντικά περισσότερο να απαντήσουν, όταν η γωνία περιστροφής ήταν 90° σε σχέση με 180°,  $t(2) = 6,015$  και  $p = .027$ . Το ίδιο όμως ισχύει και για τον άξονα y όπου ο μέσος χρόνος απόκρισης είναι σημαντικά μεγαλύτερος για την γωνία περιστροφής 90°, παρά για την γωνία 180°,  $t(2)=10,360$ ,  $p = .009$ . Αντιθέτως όπως παρατηρείται στον Πίνακα 25 στον άξονα z ο μέσος χρόνος απόκρισης, όταν η γωνία περιστροφής ήταν 90° ήταν σημαντικά μικρότερος, σε σύγκριση με τον μέσο χρόνο όταν η γωνία περιστροφής ήταν 180°,  $t(2) = 9,208$ ,  $p = .012$ . Στον Πίνακα 25 παρουσιάζονται η μέση τιμή (Mean) και η τυπική απόκλιση των μέσων χρόνων απόκρισης ανά άξονα και γωνία περιστροφής.

**Πίνακας 25:** Μέση Τιμή (Mean) και τυπική απόκλιση (Std) των μέσων χρόνων απόκρισης ανά άξονα και γωνία περιστροφής.

x		y		z	
90°	180°	90°	180°	90°	180°
45,62 (6,90)	29,05 (7,48)	45,04 (0,65)	30,19 (3,00)	36,25 (2,44)	44,82 (4,03)

Χρησιμοποιήθηκαν Planned Comparisons για κάθε άξονα ξεχωριστά προκειμένου να συγκριθεί ο μέσος χρόνος απόκρισης ανάμεσα στις δύο γωνίες περιστροφής (90°, 180°) για κάθε γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος ξεχωριστά. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση καθυστερούσαν σημαντικά περισσότερο να απαντήσουν, όταν η γωνία περιστροφής ήταν 90° σε σχέση με 180°, μόνο στον άξονα y και στα δύο είδη αρχικών ερεθισμάτων, στο a1  $t(2) = 45,619, p = .0001$  και στο b1  $t(2) = 4,368, p = .049$ .

Το ακριβώς αντίθετο ισχύει για τον άξονα z, όπου ο μέσος χρόνος απόκρισης ήταν σημαντικά μικρότερος όταν η γωνία περιστροφής ήταν 90°, σε σχέση με τις 180°, αλλά μόνο όταν το αρχικό ερέθισμα είχε γεωμετρία a1,  $t(2) = 8,694, p = .013$ . Στον Πίνακα 26 παρουσιάζονται η μέση τιμή (Mean) και η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) των μέσων χρόνων απόκρισης ανά άξονα και γεωμετρία αρχικού και εξεταζόμενου ερεθίσματος.

**Πίνακας 26:** Μέση τιμή (Mean) και τυπική απόκλιση (Std) των μέσων χρόνων απόκρισης ανά άξονα, γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος και γωνία περιστροφής.

x				y				z			
a 1		b 1		a 1		b 1		a 1		b 1	
90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°
44,22 (7,88)	36,21 (6,36)	47,01 (20,22)	37,31 (9,23)	51,68 (6,35)	35,97 (5,76)	38,40 (5,22)	24,40 (0,82)	34,36 (9,10)	54,72 (7,53)	38,13 (10,40)	34,92 (8,97)

Το δεύτερο ερώτημα που θα αναλυθεί είναι το αν οι παραπάνω παράγοντες έπαιξαν ρόλο στον τρόπο που απαντούσαν (μέσος χρόνος απόκρισης) κάθε ερώτηση, οι συμμετέχοντες της Ομάδας II. Η ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 3 (άξονας: x, y, z) X 2 (γωνία: 90°, 180°) X 2 (γεωμετρία: a1, b1) Ανονα, με εξαρτημένη μεταβλητή τον μέσο χρόνο απόκρισης κάθε ερώτησης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η αλληλεπίδραση μεταξύ άξονα και γωνίας περιστροφής, ήταν στατιστικά σημαντική [ $F(2,4) = 8,217, p = .038, \eta^2 = .804$ ].

Εφαρμόστηκε στα δεδομένα Planned Comparisons, για να συγκρίνουμε την γωνία περιστροφής 90° ή 180° σε κάθε άξονα περιστροφής ξεχωριστά και προέκυψε ότι, μόνο στον άξονα περιστροφής y, ο μέσος χρόνος απόκρισης ήταν οριακά πιο μεγάλος (Mean=33,76, Std=5,43), όταν η περιστροφή ήταν κατά γωνία 90°, σε σχέση με την περιστροφή κατά γωνία 180° (Mean=24,84, Std=0,91)  $t(2)=3,185, p = .086$ .

Επίσης η αλληλεπίδραση του άξονα περιστροφής με την γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος, ήταν στατιστικά σημαντική [ $F(2,4)=13,451, p = .017, \eta^2 = .871$ ].



Χρησιμοποιήθηκε Planned Comparisons ανάλυση, προκειμένου να συγκριθεί ο χρόνος απόκρισης σε κάθε γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος ξεχωριστά μεταξύ όλων των αξόνων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η αλληλεπίδραση αυτή οφείλεται στον σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο που απαιτήθηκε για να απαντήσουν οι συμμετέχοντες της Ομάδας II στις ερωτήσεις, όπου το αρχικό ερέθισμα ήταν γεωμετρίας b1 στον άξονα περιστροφής x (Mean=28,89, Std=6,53), σε σχέση με τον άξονα περιστροφής y (Mean=23,58, Std=8,04),  $t(2) = 5,898$ ,  $p = .028$ .

Η ίδια ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη των μέσων χρόνων απόκρισης σε σχέση με τους παράγοντες άξονας περιστροφής, γωνία περιστροφής, αρχικό ερέθισμα, χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να μελετηθεί το ερώτημα αν από τους παραπάνω παράγοντες επηρεάστηκε το πλήθος των σωστών απαντήσεων των συμμετεχόντων της Ομάδας I. Προέκυψε ότι, η μόνη στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση, ήταν μεταξύ άξονα περιστροφής και γωνίας [ $F(2,4) = 11,729$ ,  $p = .021$ ,  $\eta^2 = .854$ ].

Χρησιμοποιήθηκε Planned Comparisons ανάλυση, για να συγκρίνουμε το πλήθος των σωστών απαντήσεων σε κάθε άξονα ξεχωριστά στις δύο διαφορετικές γωνίες περιστροφής, προκειμένου να μελετηθεί το πού οφείλεται αυτή η αλληλεπίδραση. Από την ανάλυση προέκυψε ότι η αλληλεπίδραση οφείλεται στις σημαντικά περισσότερες σωστές απαντήσεις που δόθηκαν στις ερωτήσεις όπου ο άξονας περιστροφής ήταν ο z και η γωνία ήταν  $90^\circ$  (Mean=20,83, Std=2,47), συγκριτικά με τις ερωτήσεις όπου ο άξονας περιστροφής ήταν ο z και η γωνία περιστροφής ήταν  $180^\circ$  (Mean=17,17, Std=1,04),  $t(2)=4$ ,  $p = .048$ . Καμία άλλη επίδραση βασικού παράγοντα (άξονας περιστροφής, γωνία περιστροφής, γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος) ή αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων, δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Τέλος η ίδια Anova ανάλυση εφαρμόστηκε στα δεδομένα της Ομάδας II, προκειμένου να μελετηθεί το ερώτημα αν οι παράγοντες άξονας περιστροφής, γωνία περιστροφής, γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος ή αλληλεπίδρασή τους, επηρέασε το πλήθος των σωστών απαντήσεων στους συμμετέχοντες της Ομάδας II. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μόνη στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση ήταν μεταξύ άξονα και γωνίας [ $F(2,4)=11,902$ ,  $p = .021$ ,  $\eta^2 = .856$ ].

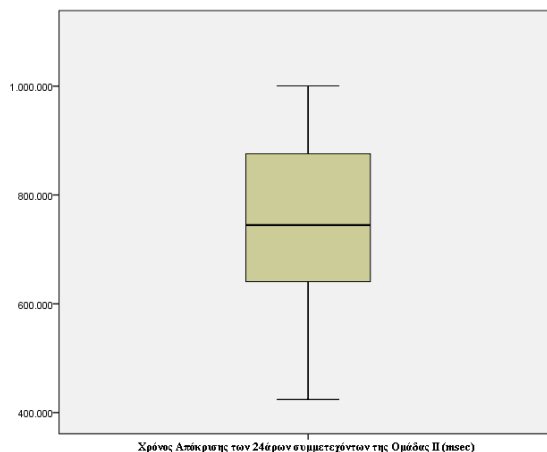
Σύμφωνα με Planned Comparisons που συνέκριναν τις σωστές απαντήσεις στα δύο διαφορετικά είδη περιστροφής ανάλογα με την γωνία, σε κάθε άξονα ξεχωριστά, η αλληλεπίδραση αυτή οφείλεται στις σημαντικά περισσότερες σωστές απαντήσεις που δόθηκαν όταν η γωνία περιστροφής ήταν  $90^\circ$  (Mean=9, Std=0), συγκριτικά με την

γωνία περιστροφής  $180^\circ$  (Mean=8.33, Std=0,29), μόνο όσο αφορά τον άξονα περιστροφής x,  $t(2)=4,000$ ,  $p = .057$ .

### 5.3 Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων

#### 5.3.1 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής του χρόνου συμπλήρωσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

Στο θηκόγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 73) φαίνεται η κατανομή των τιμών των χρόνων των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I που ολοκλήρωσαν με επιτυχία το τεστ, απάντησαν δηλαδή σε όλες τις ερωτήσεις. Παρατηρείται ότι δεν εμφανίζονται παράτυπες τιμές. Ακόμα το εύρος της διακύμανσης είναι αρκετά μεγάλο, ενώ η κατανομή εμφανίζει θετική ασυμμετρία.



**Εικόνα 73:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των συνολικών χρόνων των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I.

Στην Εικόνα 74 φαίνεται το θηκόγραμμα της κατανομής των συνολικών χρόνων των 13 συμμετεχόντων της Ομάδας II που με επιτυχία ολοκλήρωσαν το τεστ. Δεν εμφανίζονται παράτυπες τιμές. Επίσης το εύρος της διακύμανσης των τιμών είναι σχετικά μικρό, μικρότερο μάλιστα από το εύρος της διακύμανσης των τιμών της Ομάδας I. Η κατανομή εμφανίζει θετική ασυμμετρία όπως και η κατανομή των τιμών της Ομάδας I.



**Εικόνα 74:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των συνολικών χρόνων των 13 συμμετεχόντων της Ομάδας II.

### 5.3.2 Ανάλυση και Διερεύνηση του Μέσου Συνολικού Χρόνου Ολοκλήρωσης

Όλοι οι συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες (I και II), κατάφεραν να συμπληρώσουν με επιτυχία, το τεστ της οπτικοποίησης νοητικού κατοπτρισμού (δηλαδή απάντησαν σε όλες τις ερωτήσεις). Από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I, οι 20 ξεπέρασαν τον χρόνο των 10 min. Ο συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» φαίνεται στο Πίνακα 27 για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II. Ο συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του τεστ για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II είναι μικρότερος από της Ομάδας I.

**Πίνακας 27:** Μέσος Συνολικός Χρόνος απόκρισης σε λεπτά του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και για τις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

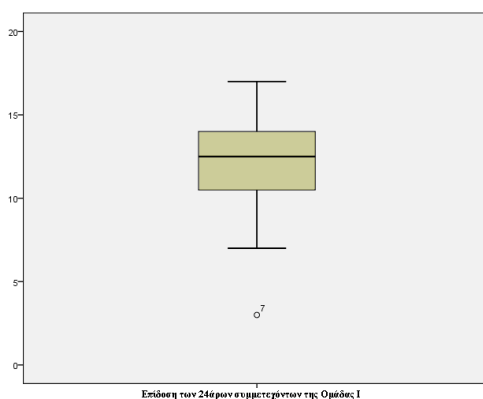
<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</i>			
	<b>Πλήθος Ολοκληρωμένων Τεστ (n)</b>	<b>Μέσος Χρόνος (Mean Time) (min)</b>	<b>Std Error</b>
<b>Ομάδα I (N=24)</b>	24	12,46	2,69
<b>Ομάδα II (N=13)</b>	13	8,03	1,55

### 5.3.3 Διαγραμματικός έλεγχος της κατανομής της επίδοσης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και II

Το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» κατάφεραν να το ολοκληρώσουν όλοι οι συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες (I και II), χωρίς να εμφανίζουν ερωτήσεις που δεν τις είδαν ή δεν τις απάντησαν. Ακόμα και οι συμμετέχοντες της Ομάδας II στους οποίους επιβλήθηκε χρονικός περιορισμός, κατάφεραν να απαντήσουν σε όλες τις ερωτήσεις. Με την

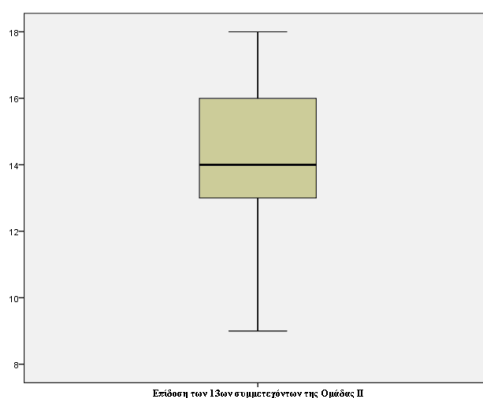
χρήση θηκογραμμμάτων θα επιχειρηθεί η εξέταση της μελέτης της κατανομής των επιδόσεων για κάθε ομάδα συμμετεχόντων, με σκοπό να διαπιστώσουμε αν υπάρχουν ομοιότητες ή διαφορές, όσο αφορά την διασπορά των τιμών των επιδόσεων.

Στην Εικόνα 75 που ακολουθεί φαίνεται το θηκόγραμμα των τιμών της επίδοσης για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I. Παρατηρείται ότι υπάρχει μόνο μια παράτυπη τιμή με επίδοση μικρότερη από το 5. Το εύρος της διακύμανσης των τιμών, φαίνεται ότι δεν είναι μεγάλο. Η κατανομή των τιμών εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία.



**Εικόνα 75:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των τιμών της επίδοσης των 24 συμμετεχόντων της Ομάδας I.

Αντίθετα στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 76) εμφανίζεται το θηκόγραμμα της κατανομής των τιμών των 13 συμμετεχόντων της Ομάδας II. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν καθόλου παράτυπα σημεία. Επίσης το εύρος της διακύμανσης των τιμών είναι αρκετά μεγάλο, ξεκινώντας από τιμές επίδοσης μεγαλύτερες του οχτώ. Ακόμα εμφανίζεται θετική ασυμμετρία.



**Εικόνα 76:**Θηκόγραμμα για την κατανομή των τιμών της επίδοσης των 13 συμμετεχόντων της Ομάδας II.

### 5.3.4 Ανάλυση και Διερεύνηση της Μέσης Συνολικής Επίδοσης

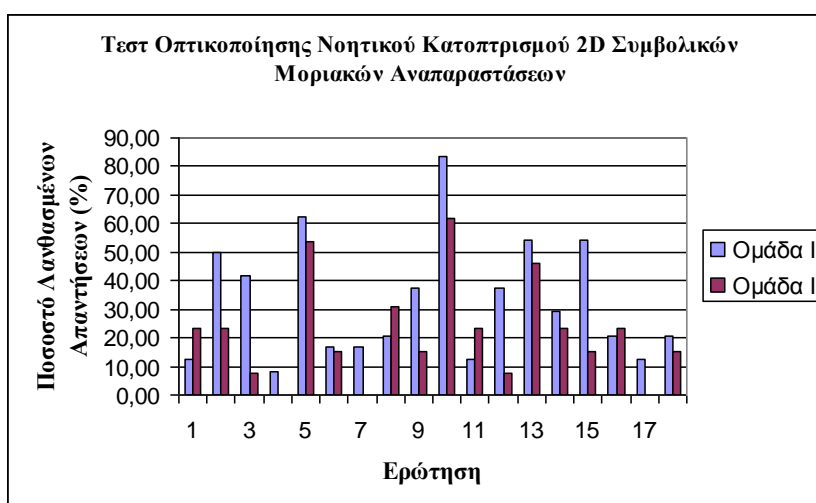
Το μέσο συνολικό σκορ των συμμετεχόντων της Ομάδας II εμφανίζεται υψηλότερο από των συμμετεχόντων της Ομάδας I, όπως φαίνεται στον Πίνακα 28 που ακολουθεί. Φαίνεται ότι η επιβολή του χρονικού περιορισμού των 10 min λειτούργησε θετικά όσο αφορά την συνολική επίδοση στο τεστ στην Ομάδα II.

**Πίνακας 28:** Μέση Συνολική Επίδοση του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και για τις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

<i>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων</i>			
	Πλήθος Ολοκληρωμένων Τεστ (n)	Μέσος Χρόνος (Mean Time) (min)	Std Error
<b>Ομάδα I (N=24)</b>	24	12,08	3,35
<b>Ομάδα II (N=13)</b>	13	14,15	2,61

### 5.3.5 Ανάλυση και Διερεύνηση των Λανθασμένων Απαντήσεων ανά ερώτηση

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων ανά ομάδα συμμετεχόντων και ανά ερώτηση, στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Παρατηρείται ότι κάποιες ερωτήσεις έχουν υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων αλλά αρκετές εμφανίζουν χαμηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων. Η Ομάδα I εμφανίζει περισσότερες ερωτήσεις με αυξημένο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, από ότι η Ομάδα II.



**Διάγραμμα 5:** Ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 13 της Ομάδας II.

Στον Πίνακα 29 παρουσιάζεται το πλήθος των λανθασμένων απαντήσεων για κάθε ερώτηση του τεστ. Επίσης παρουσιάζεται και το ποσοστό, επί τοις εκατό των λανθασμένων απαντήσεων, που αντιστοιχεί σε αυτό το πλήθος, για κάθε μια από τις 18 ερωτήσεις του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και της Ομάδας II.

**Πίνακας 29:** Πλήθος και Ποσοστό Λανθασμένων Απαντήσεων για κάθε μια από της 18 ερωτήσεις του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» ανά ομάδα συμμετεχόντων

Ερώτηση	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	5 <sup>η</sup>	6 <sup>η</sup>	7 <sup>η</sup>	8 <sup>η</sup>	9 <sup>η</sup>
<b>Ομάδα I (n=24)</b> Πλήθος Λάθος Απαντήσεων (%)	3 (12,50%)	12 (50,00%)	10 (41,67%)	2 (8,33%)	15 (62,50%)	4 (16,67%)	4 (16,67%)	5 (20,83%)	9 (37,50%)
<b>Ομάδα II (n=13)</b> Πλήθος Λανθασμένων Απαντήσεων (%)	3 (23,08%)	3 (23,08%)	1 (7,69%)	0 (0,0%)	7 (53,85%)	2 (15,38%)	0 (0,0%)	4 (30,77%)	2 (15,38%)
Ερώτηση	10 <sup>η</sup>	11 <sup>η</sup>	12 <sup>η</sup>	13 <sup>η</sup>	14 <sup>η</sup>	15 <sup>η</sup>	16 <sup>η</sup>	17 <sup>η</sup>	18 <sup>η</sup>
<b>Ομάδα I (n=24)</b> Πλήθος Λανθασμένων Απαντήσεων (%)	20 (83,33%)	3 (12,50%)	9 (37,50%)	13 (54,17%)	7 (29,17%)	13 (54,17%)	5 (20,83%)	3 (12,50%)	5 (20,83%)
<b>Ομάδα II (n=13)</b> Πλήθος Λανθασμένων Απαντήσεων (%)	8 (61,54%)	3 (23,08%)	1 (7,69%)	6 (46,15%)	3 (23,08%)	2 (15,38%)	3 (23,08%)	0 (0,0%)	2 (15,38%)

Όπως παρατηρείται υπάρχουν ερωτήσεις οι οποίες εμφανίζουν αυξημένο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η 2<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup>, 10<sup>η</sup>, 13<sup>η</sup>, 15<sup>η</sup> ερώτηση για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Η 10<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό λαθών στο συγκεκριμένο τεστ (83,33%) από κάθε άλλη ερώτησή του. Στην Ομάδα II, η 5<sup>η</sup>, 10<sup>η</sup>, και 13<sup>η</sup> ερώτηση, εμφανίζουν υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Και σε αυτήν την κατηγορία η 10<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό. Τόσο υψηλά ποσοστά λαθών παρουσιάστηκαν και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R».

Από αυτές τις ερωτήσεις η 2<sup>η</sup> και η 10<sup>η</sup> ερώτηση αντιστοιχεί σε διεργασία κατοπτρισμού όπου το επίπεδο κατοπτρισμού σχηματίζεται από τους άξονες x και y (επίπεδο xy), σύμφωνα με το σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων. Η 5<sup>η</sup>, η 13<sup>η</sup> και η 15<sup>η</sup> ερώτηση αντιστοιχούν σε διεργασία κατοπτρισμού, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι αυτό που σχηματίζεται από τους άξονες z και y (επίπεδο zy), σύμφωνα πάλι το σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων.

Αντίθετα υπάρχουν ερωτήσεις που εμφανίζουν πολύ μικρό ως και μηδενικό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων. Η 1<sup>η</sup>, η 4<sup>η</sup>, η 6<sup>η</sup>, η 7<sup>η</sup>, η 11<sup>η</sup> και η 17<sup>η</sup> ερώτηση ανήκουν σε αυτή την κατηγορία με τις ελάχιστες λανθασμένες απαντήσεις για την Ομάδα Ι. Στην Ομάδα ΙΙ η 3<sup>η</sup>, η 4<sup>η</sup>, η 6<sup>η</sup>, η 7<sup>η</sup>, και η 9<sup>η</sup> εμφανίζουν πολύ χαμηλά ως και μηδενικά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων.

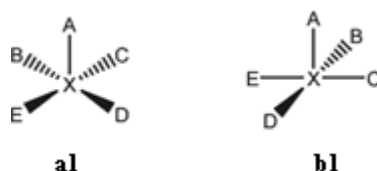
Στον Πίνακα 30 παρουσιάζεται το πλήθος και το ποσοστό λάθους επί τοις εκατό, ανά ερώτηση στο σύνολο των λαθών που έγιναν στο τεστ, στις βασικές κατηγορίες που προέκυψαν με βάση το εξεταζόμενο επίπεδο κατοπτρισμού (yz,xz,xy) και το αρχικό ερέθισμα (a1, b1).

**Πίνακας 30:** Ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων στο σύνολο των 142 λαθών της Ομάδας Ι και των 50 λαθών της Ομάδας ΙΙ, ανά επίπεδο κατοπτρισμού και ανά κατηγορία αρχικού ερεθίσματος, για τους συμμετέχοντες της Ομάδας Ι

<b>Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων (Πλήθος Συνολικών Λαθών Ομάδας Ι=142) &amp; (Πλήθος Συνολικών Λαθών Ομάδας ΙΙ=50)</b>						
<b>Επίπεδο Κατοπτρισμού</b>	<b>yz</b>		<b>xz</b>		<b>xy</b>	
<b>Αρχικό Ερέθισμα (Ερώτηση)</b>	<b>a 1 (4-6)</b>	<b>b 1 (13-15)</b>	<b>a 1 (7-9)</b>	<b>b 1 (16-18)</b>	<b>a 1 (1-3)</b>	<b>b 1 (10-12)</b>
<b>Ομάδα Ι (n=24) Πλήθος και Ποσοστό (%) Λάθος Απαντήσεων</b>	21 (14,79%)	33 (23,24%)	18 (12,68%)	13 (9,15%)	25 (17,61%)	32 (22,54%)
<b>Ομάδα ΙΙ (n=13) Πλήθος και Ποσοστό (%) Λάθος Απαντήσεων</b>	9 (18%)	11 (22%)	6 (12%)	5 (10%)	7 (14%)	12 (24%)

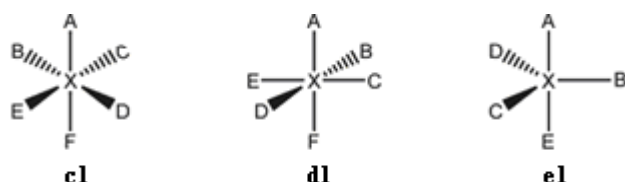
Στον πίνακα το yz αναφέρεται στο επίπεδο κατοπτρισμού που σχηματίζεται από τους άξονες y και z, το xz αναφέρεται στο επίπεδο κατοπτρισμού που σχηματίζεται από τους άξονες x και z και τέλος το xy αναφέρεται στο επίπεδο κατοπτρισμού που σχηματίζεται από τους άξονες x και y, σύμφωνα με το σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων.

Το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας σε δύο διαφορετικές προοπτικές (a1, b1) Οι ερωτήσεις 1-9 αφορούν τον κατοπτρισμό αρχικού ερεθίσματος a1 ενώ οι ερωτήσεις 10-18 αφορούν τον κατοπτρισμό αρχικού ερεθίσματος b1 σε όλα τα επίπεδα κατοπτρισμού. Στην Εικόνα 77 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αρχικά ερεθίσματα a1 και b1.



**Εικόνα 77:** Τα αρχικά ερεθίσματα a1 και b1.

Τα εξεταζόμενα ερεθίσματα και στις δύο κατηγορίες ερωτήσεων παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 78).



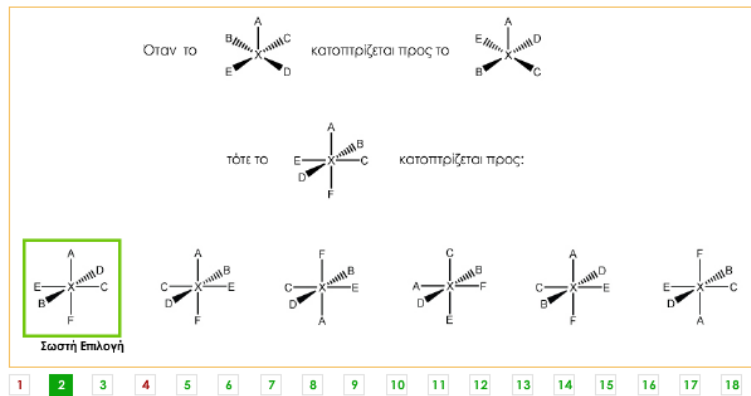
**Εικόνα 78:** Τα εξεταζόμενα ερεθίσματα c1, d1 και e1.

Όπως παρατηρείται από τον Πίνακα 30 οι ερωτήσεις με υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων εξετάζουν κατοπτρισμό στα επίπεδα yz και xy του αρχικού ερεθίσματος b1. Ενώ όλες οι ερωτήσεις που εξετάζουν κατοπτρισμό στο επίπεδο xz εμφανίζουν λίγα ή καθόλου λάθη είτε το αρχικό ερέθισμα είναι a1 είτε b1.

#### *Ανάλυση των ερωτήσεων που αφορούν το xy επίπεδο κατοπτρισμού*

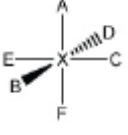
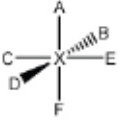
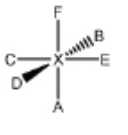
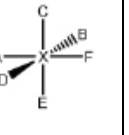
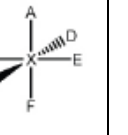
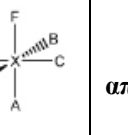
Στην Εικόνα 78 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 2<sup>ης</sup> ερώτησης που εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xy και το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακής γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1), ενώ το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία οκτάεδρου (d1). Η αρχική και η εξεταζόμενη μοριακή δομή έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στον χώρο (Εικόνα 79). Η 2<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει υψηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (50,0%) αλλά όχι για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (23,1%).





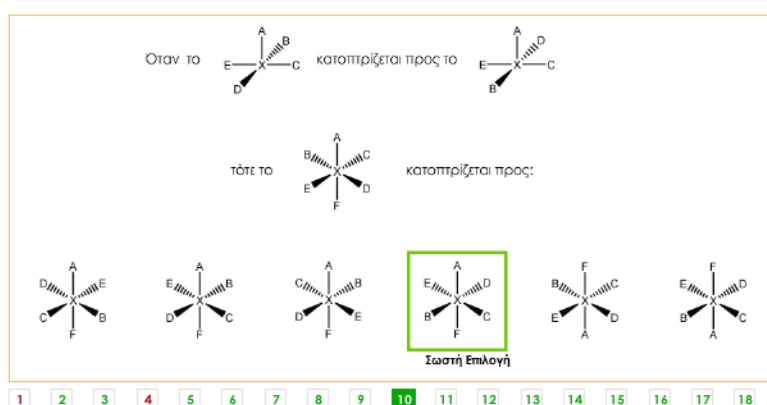
Εικόνα 79:Στιγμιότυπο από την 2<sup>η</sup> ερώτηση του τεστ, όπου το εξεταζόμενο επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xy και παρατηρείται ότι το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό

Από τον Πίνακα 31 φαίνεται ότι αρκετοί συμμετέχοντες της Ομάδας I επέλεξαν ως σωστή την εναλλακτική επιλογή στην τέταρτη θέση αντί της πρώτης θέσης που είναι η σωστή.

Πίνακας 31: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 2 <sup>η</sup> ερώτηση							
Ερώτηση 2 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 2 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 2 <sup>ης</sup> ερώτησης	1 (Σωστή)	2	3	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	12 (50,0%)	1 (4,2%)	2 (8,3%)	8 (33,3%)	1 (4,2%)	0 (0,0%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	10 (76,9%)	0 (0%)	1 (7,7%)	2 (15,4%)	0 (0%)	0 (0,0%)	13 (100%)

Στην Εικόνα 80 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 10<sup>ης</sup> ερώτησης που εμφανίζει και το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων από τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων (Ομάδα I:83,33%, Ομάδα II:61,54%). Η ερώτηση εξετάζει κατοπτρισμό

ως προς το επίπεδο  $xy$ . Το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας ( $b1$ ) και το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία οκτάεδρου ( $c1$ ). Παρατηρείται ότι, το αρχικό με το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε, ότι αυτή η ερώτηση είναι η πρώτη από την δεύτερη κατηγορία ερωτήσεων (ερωτήσεις 10-18) όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακής γεωμετρίας  $b1$ . Οι προηγούμενες εννέα ερωτήσεις (1-9) εξετάζουν το νοητικό κατοπτρισμό αρχικού ερεθίσματος γεωμετρίας  $a1$  στα τρία επίπεδα κατοπτρισμού.



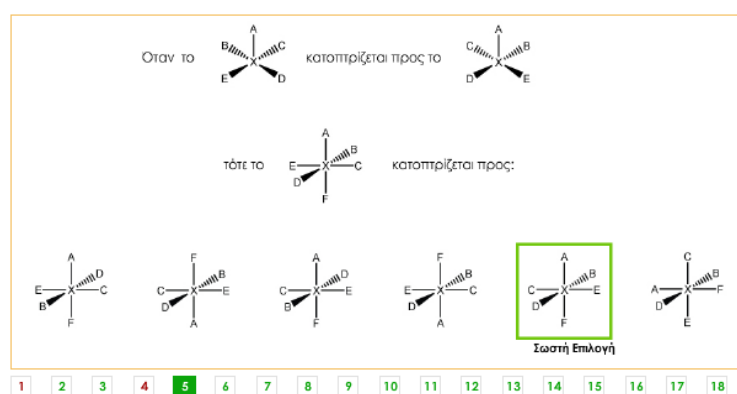
**Εικόνα 80:** Στιγμιότυπο της 10<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το εξεταζόμενο επίπεδο κατοπτρισμού είναι το  $xy$  και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό

Στον Πίνακα 32 εμφανίζεται η κατανομή των επιλογών των συμμετεχόντων των δύο ομάδων στις έξι εναλλακτικές επιλογές της 10<sup>ης</sup> ερώτησης. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες επέλεξαν ως σωστή την επιλογή στην πρώτη θέση αντί της επιλογής που βρίσκεται στην τέταρτη θέση που είναι η σωστή. Η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της κατοπτρισμένης μοριακής δομής είναι το ότι έγινε ανταλλαγή των υποκαταστατών που κείτονται μπρος και πίσω από το επίπεδο της οθόνης. Ομοίως και η μοριακή δομή της επιλογής που βρίσκεται στην πρώτη θέση του στιγμιότυπου παρατηρείται ότι προέκυψε από την μοριακή δομή του εξεταζόμενου ερεθίσματος με ανταλλαγή των θέσεων των υποκαταστατών που κείτονται μπρος και πίσω από την επιφάνεια της οθόνης. Πιθανόν οι συμμετέχοντες να προσπάθησαν να αντιστοιχίσουν τα σύμβολα για τα άτομα, προσπαθώντας να εφαρμόσουν την ίδια διεργασία που παρατήρησαν και στο αρχικό ερέθισμα. Λόγω όμως του διαφορετικού προσανατολισμού των δύο γεωμετρικών σχημάτων, κάτι τέτοιο δεν οδήγησε στην σωστή επιλογή.

Πίνακας 32: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 10 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 10 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 10 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 10 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	3	<b>4 (Σωστή)</b>	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	15 (62,5%)	1 (4,2%)	3 (12,5%)	<b>1 (4,2%)</b>	4 (16,7%)	0 (0%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	7 (53,8%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>1 (7,7%)</b>	5 (38,5%)	0 (0%)	13 (100%)

*Ανάλυση των ερωτήσεων που αφορούν το yz επίπεδο κατοπτρισμού*

Στην Εικόνα 81 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 5<sup>ης</sup> ερώτησης με υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων (Ομάδα I:62,50%, Ομάδα II:53,85%).



**Εικόνα 81:** Στιγμιότυπο της 5<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό

Η ερώτηση εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xy και το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) ενώ το εξεταζόμενο είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία οκτάεδρου. Παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα δεν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο. Η σωστή απάντηση βρίσκεται στην πέμπτη θέση του στιγμιότυπου.

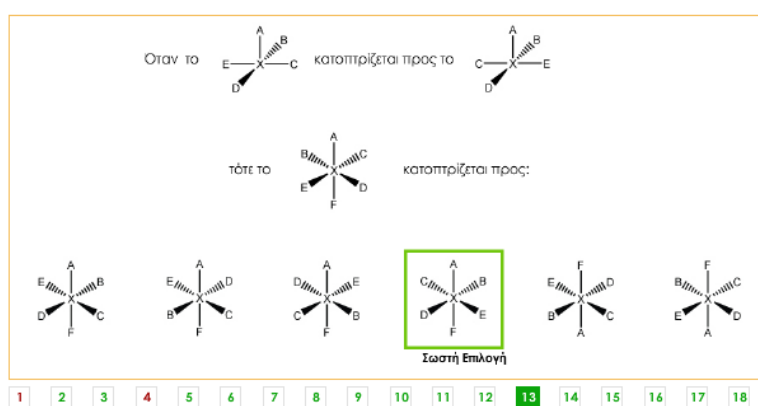
Στον Πίνακα 33, παρουσιάζονται η συχνότητα των επιλογών καθώς και το επί τοις εκατό ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές, για τους συμμετέχοντες της κάθε ομάδας.

Πίνακας 33: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 5 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 5 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 5 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 5 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	3	4	<b>5 (Σωστή)</b>	6	
<b>Ομάδα I (n = 24)</b> Συχνότητα επιλογής (%)	1 (4,2%)	1 (4,2%)	2 (8,3%)	9 (37,5%)	<b>9 (37,5%)</b>	2 (8,3%)	24 (100%)
<b>Ομάδα II (n = 13)</b> Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (23,1%)	4 (30,8%)	<b>6 (46,2%)</b>	0 (0%)	13 (100%)

Παρατηρείται ότι οι απαντήσεις για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, μοιράστηκαν σε όλες τις εναλλακτικές επιλογές. Αντίθετα οι απαντήσεις των συμμετεχόντων της Ομάδας II περιορίστηκαν μόνο σε τρεις επιλογές. Ακόμα αρκετοί συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες επέλεξαν την επιλογή στην τέταρτη θέση αντί την επιλογή στην πέμπτη θέση που είναι η σωστή. Μεταξύ της αρχικής μοριακής δομής και αυτής που πρόεκυψε από την διεργασία του κατοπτρισμού, παρατηρείται η ανταλλαγή των θέσεων των υποκαταστατών που βρίσκονται στο αριστερό μέρος και αυτών που βρίσκονται στο δεξί μέρος της μοριακής δομής. Το ίδιο παρατηρείται και μεταξύ της εξεταζόμενης μοριακής δομής και αυτής που βρίσκεται στην τέταρτη θέση του

στιγμιότυπου με τη διαφορά ότι έγινε και ανταλλαγή των θέσεων των υποκαταστατών που κείτονται πάνω στο επίπεδο της οθόνης (A,F). Επομένως πιθανόν οι συμμετέχοντες να προσπάθησαν να αντιστοιχίσουν τα σύμβολα των ατόμων.

Στην Εικόνα 82 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 13<sup>ης</sup> ερώτησης που εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:54,17%, Ομάδα II:46,15%). Η ερώτηση εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz, το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία οκτάεδρου (c1). Παρατηρούμε ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο.



**Εικόνα 82:** Στιγμιότυπο της 13<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό.

Στον Πίνακα 34 φαίνεται ότι το ποσοστό των συμμετεχόντων της Ομάδας II, που επέλεξαν την σωστή απάντηση, είναι υψηλότερο από της Ομάδας I. Επίσης οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις που δόθηκαν από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I αφορούσαν την εναλλακτική επιλογή στην δεύτερη θέση, ενώ για την Ομάδα II αφορούσαν την εναλλακτική επιλογή τρίτη θέση. Κανένας συμμετέχοντας και από τις δύο ομάδες δεν επέλεξε την πρώτη εναλλακτική επιλογή.

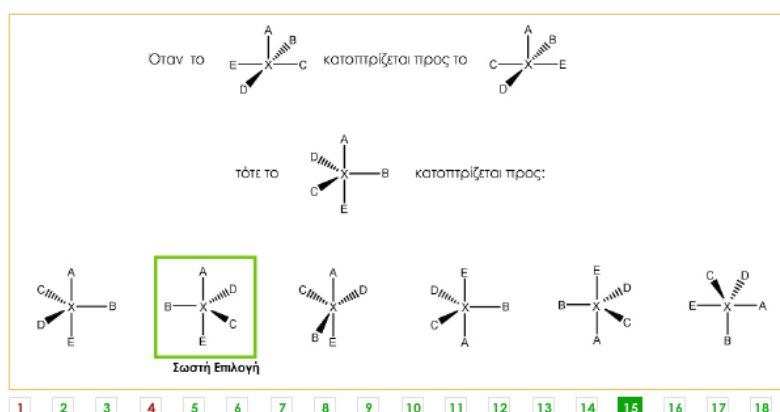
Οι συμμετέχοντες ίσως να παρατήρησαν ότι, εφαρμόζοντας τον κατοπτρισμό στο αρχικό ερέθισμα, ανταλλάσσουν τις θέσεις τους οι δεσμοί που κείτονται πάνω στο επίπεδο της οθόνης κατά μήκος του άξονα x, ενώ ο υποκαταστάτης A παραμένει στην ίδια θέση. Επειδή στο εξεταζόμενο ερέθισμα δεν έχει δεσμούς που να κείτονται με παρόμοιο τρόπο, η προσπάθειά τους να εφαρμόσουν την αντίστοιχη νοητική διεργασία πιθανόν να τους οδήγησε στην λάθος επιλογή. Επιπλέον, η δυσκολία, όσον αφορά την

επιλογή τους, πιθανόν να αυξήθηκε, από το γεγονός ότι τέσσερις στις έξι επιλογές έχουν τον υποκαταστάτη A πάνω και τον υποκαταστάτη F κάτω.

**Πίνακας 34:** Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 13<sup>η</sup> ερώτηση.

Ερώτηση 13 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 13 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 13 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	2	3	<b>4</b> (Σωστή)	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	7 (29,2%)	2 (7,3%)	<b>11</b> (45,8%)	1 (4,2%)	3 (12,5%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0,0%)	2 (15,4%)	3 (23,1%)	<b>7</b> (53,8%)	1 (7,7%)	0 (0,0%)	13 (100%)

Τέλος στην Εικόνα 83 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της 15<sup>ης</sup> ερώτησης.



**Εικόνα 83:** Στιγμιότυπο της 15<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό.

Η ερώτηση εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz, το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με

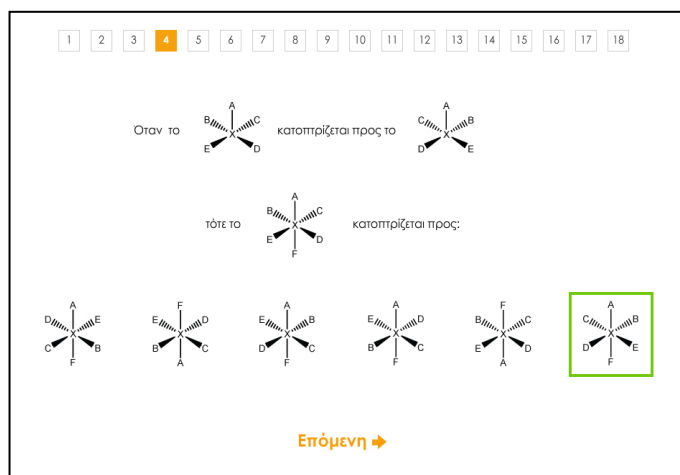
γεωμετρία τριγωνικής διπυραμίδας (e1) . Το εξεταζόμενο ερέθισμα έχει διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο από το αρχικό. Η ερώτηση εμφανίζει υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I (54,17%).

Στον Πίνακα 35 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποσοστό των συμμετεχόντων ανά εναλλακτική επιλογή. Η σωστή επιλογή βρίσκεται στην δεύτερη θέση. Οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I, αφορούσαν την τρίτη και τέταρτη εναλλακτική επιλογή. Ενώ για την Ομάδα II αφορούσαν τη πέμπτη εναλλακτική επιλογή. Φαίνεται ότι η πέμπτη εναλλακτική επιλογή μοιάζει περισσότερο από τις άλλες με την σωστή διότι έχει τον υποκαταστάτη B στην ίδια θέση. Αυτό που διαφέρει είναι η θέση του υποκαταστάτη A, ο οποίος θα έπρεπε να είναι προς τα πάνω, όπως και στην κατοπτρισμένη μοριακή δομή του αρχικού ερεθίσματος.

Πίνακας 35: Ανάλυση των απαντήσεων της Ομάδας I και II στην 15 <sup>η</sup> ερώτηση.							
Ερώτηση 15 <sup>η</sup>							
Εναλλακτικές απαντήσεις στην 15 <sup>η</sup> ερώτηση							Σύνολο απαντήσεων
Θέση εναλλακτικής απάντησης της 15 <sup>ης</sup> ερώτησης	1	<b>2</b> (Σωστή)	3	4	5	6	
Ομάδα I (n = 24) Συχνότητα επιλογής (%)	2 (8,3%)	<b>11</b> ( <b>45,8%</b> )	4 (16,7%)	4 (16,7%)	0 (0%)	3 (12,5%)	24 (100%)
Ομάδα II (n = 13) Συχνότητα επιλογής (%)	0 (0%)	<b>7</b> ( <b>53,8%</b> )	0 (0%)	1 (7,7%)	3 (23,1%)	2 (15,4%)	13 (100%)

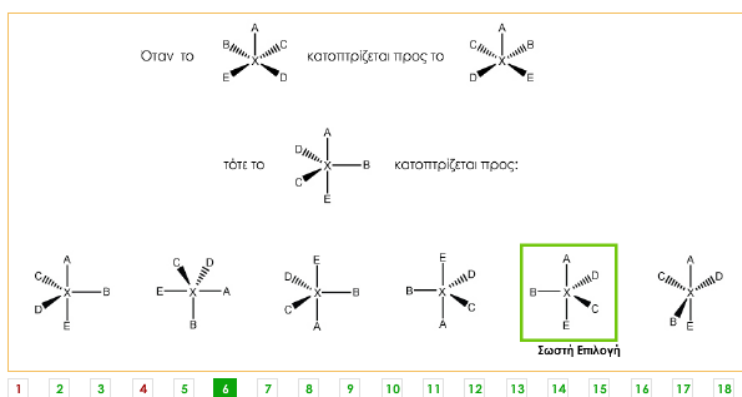
Το πιο χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων εμφανίστηκε στην 4<sup>η</sup> ερώτηση, όπου μόνο δύο από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I (2/24) έκαναν λάθος, ενώ κανένας συμμετέχοντας από την Ομάδα II δεν έδωσε λάθος απάντηση. Η ερώτηση εξετάζει κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz, το αρχικό ερέθισμα

είναι μοριακή δομή με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή δομή με γεωμετρία οκτάεδρου (c1). Αρχικό και εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν τον ίδιο προσανατολισμό (Εικόνα 84).



**Εικόνα 84:** Στιγμιότυπο της 4<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν ίδιο προσανατολισμό.

Η 6<sup>η</sup> ερώτηση η οποία εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz, εμφάνισε χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I:16,67%, Ομάδα II:15,38%) (Εικόνα 85). Το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και το εξεταζόμενο είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τριγωνικής διπυραμίδας (e1). Το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα δεν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο.

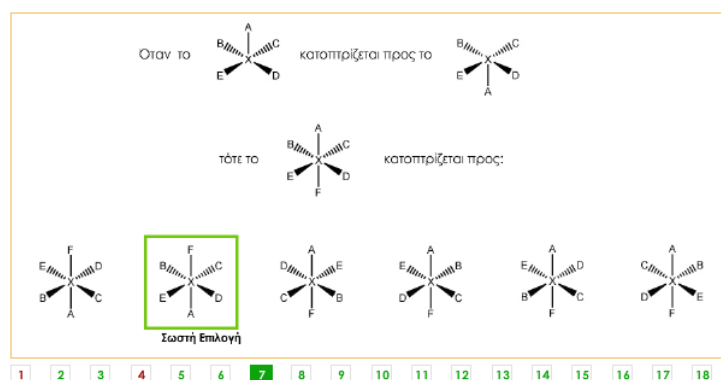


**Εικόνα 85:** Στιγμιότυπο της 6<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το yz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν διαφορετικό προσανατολισμό.

Στην 7<sup>η</sup> ερώτηση (Εικόνα 86) εμφάνισαν χαμηλά ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων (Ομάδα I:16,67%, Ομάδα II:0,0%). Η ερώτηση εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz. Το αρχικό

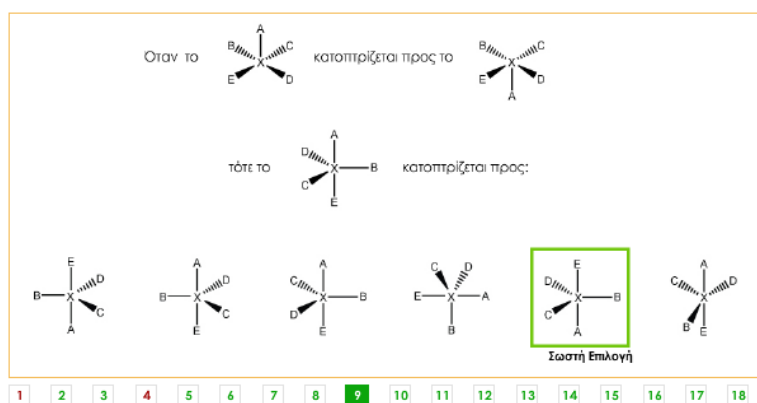


ερέθισμα είναι μοριακή δομή με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1) και το εξεταζόμενο είναι μοριακή δομή με γεωμετρία οκτάεδρου (c1). Αρχικό και εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο.



**Εικόνα 86:** Στιγμιότυπο της 7<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν ίδιο προσανατολισμό.

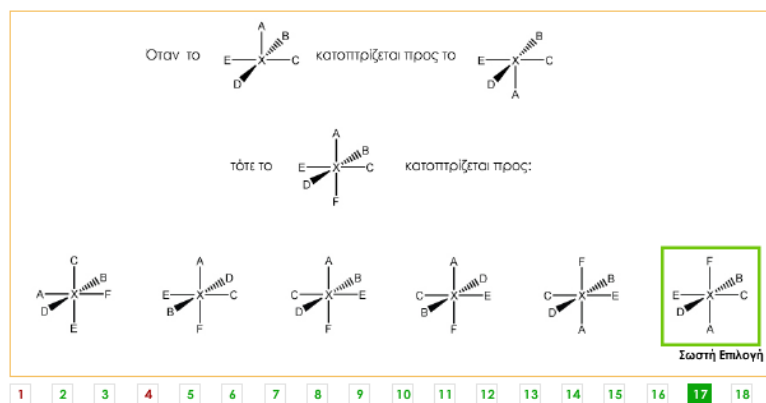
Στην 9<sup>η</sup> ερώτηση (Εικόνα 87) οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων εμφάνισαν χαμηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:37,5%, Ομάδα II:15,38%). Η ερώτηση εξετάζει νοητικό κατοπτρισμό όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz. Το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή δομή με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1), ενώ το εξεταζόμενο ερέθισμα είναι μοριακή δομή με γεωμετρία τριγωνικής δυπυραμίδας (e1).



**Εικόνα 87:** Στιγμιότυπο της 9<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν ίδιο προσανατολισμό.

Τέλος η 17<sup>η</sup> ερώτηση (Εικόνα 88) εμφανίζει πολύ χαμηλό ποσοστό λαθών για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων (Ομάδα I:12,5%, Ομάδα II:0,0%). Η ερώτηση εξετάζει τον κατοπτρισμό αρχικού ερεθίσματος μοριακής δομής με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1) και εξεταζόμενου ερεθίσματος μοριακής δομής με γεωμετρία οκτάεδρου (d1) με επίπεδο κατοπτρισμού το xz. Το αρχικό και το

εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Επιπλέον από τις έξι δυνατές επιλογές μόνο οι δύο ήταν με τον υποκαταστάτη A προς τα κάτω, όπως και στη μοριακή δομή που προκύπτει από τον κατοπτρισμό του αρχικού ερεθίσματος. Άρα πιθανόν λόγω της ελαχιστοποίησης των δυνατών επιλογών οι συμμετέχοντες να οδηγήθηκαν πιο εύκολα στην τελική τους επιλογή.

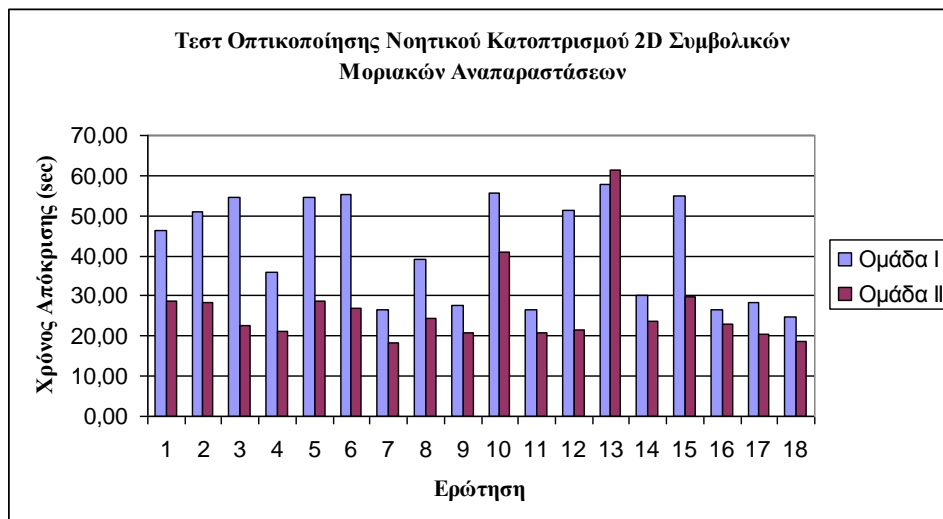


**Εικόνα 88:** Στιγμιότυπο της 17<sup>ης</sup> ερώτησης του τεστ, όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz και παρατηρείται ότι το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα έχουν ίδιο προσανατολισμό.

Στις ερωτήσεις με το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων, το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xy και το yz, ενώ το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή δομή γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (b1), τα εξεταζόμενα ερεθίσματα είναι μοριακές αναπαραστάσεις με γεωμετρία οκτάεδρου (c1) και τριγωνικής διπυραμίδας (e1). Πιθανόν ο διαφορετικός προσανατολισμός στο χώρο του αρχικού και του εξεταζόμενου ερεθίσματος να οδήγησε τους συμμετέχοντες σε λανθασμένες επιλογές. Τέλος τα λιγότερα λάθη εμφανίστηκαν στην κατηγορία ερωτήσεων όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz και το αρχικό ερέθισμα μοριακή δομή με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1).

### 5.3.6 Ανάλυση και διερεύνηση των Μέσων Χρόνων Απόκρισης ανά ερώτηση

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι απόκρισης ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων. Παρατηρείται ότι υπάρχουν ερωτήσεις με αρκετά υψηλούς μέσους χρόνους απόκρισης. Οι περισσότερες ανήκουν στην κατηγορία ερωτήσεων 1-9 όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή δομή γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1). Επιπλέον φαίνεται ότι μεγαλύτερους μέσους χρόνους απόκρισης ανά ερώτηση εμφάνισαν οι συμμετέχοντες της Ομάδας I.



**Διάγραμμα 6:** Μέσοι χρόνοι απόκρισης σε sec ανά ερώτηση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 13 συμμετέχοντες της Ομάδας II .

Επίσης στον Πίνακα 36 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ανά ερώτηση σε sec, καθώς και η μικρότερη, η μεγαλύτερη τιμή των χρόνων απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I και Ομάδας II.

**Πίνακας 36:** Μέση τιμή και τυπική απόκλιση σε sec, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, ανά ερώτηση για τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I και τους 13 της Ομάδας II.

Ερώτηση	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα I (n=24)	Ελάχιστη Τιμή Ομάδα II (n=13)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα I (n=24)	Μέγιστη Τιμή Ομάδα II (n=13)	Μέση Τιμή Ομάδα I (n=24)	Μέση Τιμή Ομάδα II (n=13)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα I (n=24)	Τυπική Απόκλιση (SD) Ομάδα II (n=13)
1	16,60	18,99	91,10	51,87	46,26	28,89	20,00	11,67
2	18,59	15,34	127,86	51,42	51,09	28,35	24,69	10,30
3	20,09	8,81	144,30	39,98	54,41	22,76	31,20	9,82
4	10,71	13,48	92,74	32,23	35,96	21,33	17,00	5,70
5	0,68	12,45	218,03	78,81	54,73	28,82	48,26	17,06
6	14,02	11,92	139,40	51,75	55,30	27,08	32,89	10,98
7	9,59	7,96	61,46	49,95	26,46	18,29	13,50	11,18
8	9,46	11,00	119,76	41,17	39,16	24,45	26,56	9,66
9	0,10	13,02	72,33	33,92	27,70	20,97	15,43	6,28
10	15,50	21,36	177,62	105,64	55,61	40,89	34,98	24,96
11	12,59	11,85	52,00	33,97	26,53	20,66	9,33	6,49
12	19,34	7,36	115,87	55,66	51,39	21,71	29,47	14,54
13	12,86	18,00	144,89	124,40	57,86	61,35	39,50	31,18
14	14,66	13,15	63,57	51,51	30,27	23,77	11,09	10,83
15	14,83	12,07	139,58	83,54	54,78	29,63	35,83	19,60
16	11,61	9,81	70,62	47,87	26,51	23,08	13,67	10,52
17	2,20	11,16	66,61	53,34	28,46	20,63	13,41	10,31
18	0,99	4,89	56,62	36,87	24,86	18,65	12,76	8,44

Οι 20 από τους 24 συμμετέχοντες της Ομάδας I ολοκλήρωσαν το τεστ σε χρόνο μεγαλύτερο από των 10 min που είχε οριστεί και για τον οποίο ενημερώθηκαν προφορικά. Αν υποθέσουμε ότι ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του τεστ είναι τα 10min, δηλαδή τα 600sec, τότε οι συμμετέχοντες κατά μέσο όρο θα έπρεπε να χρειαστούν 33,33sec προκειμένου να δώσουν την απάντησή τους σε κάθε μια ερώτηση. Παρατηρώντας όμως το Διάγραμμα 8 το οποίο παρουσιάζει τους μέσους συνολικούς χρόνους ανά ερώτηση, καταλήγουμε στη διαπίστωση ότι σε μόνο επτά από τις 18 ερωτήσεις οι συμμετέχοντες κατάφεραν να απαντήσουν σε μέσο χρόνο μικρότερο των 33,33sec. Άρα, δεν καθυστερούσαν να απαντήσουν μόνο στις ερωτήσεις που εμφάνισαν αρκετά υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και πιθανόν τους δυσκόλεψαν, αλλά και σε ερωτήσεις που τα παραπάνω ποσοστά ήταν πολύ χαμηλά.

Αντίθετα όλοι οι συμμετέχοντες της Ομάδας II, κατάφεραν και ολοκλήρωσαν το τεστ σε χρόνο μικρότερο από 10 min. Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα μόνο σε δύο ερωτήσεις (10<sup>η</sup> και 13<sup>η</sup>), κατά μέσο όρο χρειάστηκαν χρόνο μεγαλύτερο από 30sec.

*Ανάλυση των ερωτήσεων που αφορούν το xy επίπεδο κατοπτρισμού με την εμφάνιση υψηλού μέσου χρόνου απόκρισης στις Ομάδες I και II.*

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ερωτήσεις 1 έως 3, όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (a1). Παρατηρείται ότι και στις τρεις ερωτήσεις οι συμμετέχοντες της Ομάδας I χρειάστηκαν κατά μέσο όρο πολύ περισσότερο χρόνο από τους συμμετέχοντες της Ομάδας II (Πίνακας 36).

Επιπλέον σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και οι ερωτήσεις 10 έως 12, όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή αναπαράσταση με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας (b1). Η 10<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει τον δεύτερο μεγαλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης (Ομάδα I: Mean =55,61, SD=34,98 και Ομάδα II: Mean =40,89, SD=24,96), μετά την 13<sup>η</sup> ερώτηση, για τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων (Ομάδα I: Mean =57,86, SD=39,50 και Ομάδα II: Mean =61,35, SD=31,18). Ας τονιστεί ότι η 10<sup>η</sup> ερώτηση παρουσίασε και το υψηλότερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και στις δύο ομάδες συμμετεχόντων.

Η 10<sup>η</sup> ερώτηση είναι η πρώτη στην κατηγορία των ερωτήσεων, όπου το αρχικό ερέθισμα από μοριακή δομή τετραγωνικής πυραμίδας (a1) , αλλάζει και γίνεται μοριακή δομή τετραγωνικής πυραμίδας αλλά με διαφορετική προοπτική στο χώρο (b1). Πιθανόν αυτή η απότομη αλλαγή του ερεθίσματος μετά από εννέα ερωτήσεις να

οδήγησε τους συμμετέχοντες σε αρκετά λάθη καθώς και σε αυξημένους μέσους χρόνους.

Η 12<sup>η</sup> ερώτηση (Ομάδα I: Mean =51,39, SD=29,47 και Ομάδα II: Mean =21,71, SD=14,54) αν και δεν εμφάνισε υψηλό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων για την Ομάδα I, εμφανίζει μεγάλο μέσο χρόνο απόκρισης. Αντίθετα ο μέσος χρόνος απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας II, είναι αρκετά μικρός ενώ η τυπική απόκλιση της ερώτησης εμφανίζεται αρκετά υψηλή.

*Ανάλυση των ερωτήσεων που αφορούν το γζ επίπεδο κατοπτρισμού με την εμφάνιση υψηλού μέσου χρόνου απόκρισης στις Ομάδες I και II.*

Σε αυτήν την κατηγορία ερωτήσεων ανήκουν οι ερωτήσεις 4 έως 6. Οι μέσοι χρόνοι απόκρισης για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I εμφανίζονται πολύ υψηλοί, σε αντίθεση με τους μέσους χρόνους απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας II (Πίνακας 36).

Συγκρίνοντας την 4<sup>η</sup> και την 6<sup>η</sup> ερώτηση, που αφορούν το ίδιο επίπεδο κατοπτρισμού και το ίδιο αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας (a1), η 6<sup>η</sup> ερώτηση εμφανίζει μεγαλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης από την 4<sup>η</sup> ερώτηση. Για τους συμμετέχοντες της Ομάδας I ιδιαίτερα, ο χρόνος αυτός είναι πολύ μεγάλος. Οι τυπικές αποκλίσεις της 6<sup>ης</sup> ερώτησης εμφανίζονται αρκετά υψηλότερες από της 4<sup>ης</sup> κάτι που σημαίνει ότι κάποιιοι απάντησαν πολύ γρήγορα, ενώ άλλοι καθυστέρησαν. Πιθανόν διότι στην 6<sup>η</sup> ερώτηση το αρχικό και το εξεταζόμενο ερέθισμα είχαν διαφορετικό προσανατολισμό (γεωμετρίας a1 και e1 αντίστοιχα).

Στην ίδια κατηγορία ανήκουν οι ερωτήσεις 13 έως 15 όπου το αρχικό ερέθισμα είναι μοριακή δομή τετραγωνικής πυραμίδας (b1). Η 13<sup>η</sup> ερώτηση, η οποία εμφάνισε αρκετά μεγάλο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων (Ομάδα I:54,17%, Ομάδα II:46,15%), εμφανίζει τον μεγαλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης από όλες τις ερωτήσεις του τεστ και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I: Mean =57,86, SD=39,50 και Ομάδα II: Mean =61,35, SD=31,18). Οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφανίζουν μεγαλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Η τυπική απόκλιση και για τις δύο ομάδες εμφανίζει από τις υψηλότερες τιμές. Για την Ομάδα II εμφανίζει την υψηλότερη. Επειδή οι ερωτήσεις 13 – 15, εμφανίζουν πολύ μεγάλο ποσοστό λαθών το σύνολο των λαθών όλου του τεστ για τις δύο ομάδες, φαίνεται πως πιθανόν όχι μόνο δυσκόλεψαν, αλλά και καθυστέρησαν κάποιους από τους συμμετέχοντες.

*Ανάλυση των ερωτήσεων που αφορούν το xz επίπεδο κατοπτρισμού με την εμφάνιση υψηλού μέσου χρόνου απόκρισης στις Ομάδες I και II.*

Οι ερωτήσεις που εξετάζου νοητικό κατοπτρισμό στο επίπεδο xz είναι οι 7-9 και 16-18). Η 7<sup>η</sup> ερώτηση, εμφάνισε μηδενικό ποσοστό λαθών για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II, και τον μικρότερο μέσο χρόνο απόκρισης για την ίδια ομάδα (Mean =18,29, SD=11,18). Αλλά και για την Ομάδα I ο μέσος χρόνος απόκρισης είναι αρκετά χαμηλός (Mean =26,46, SD=13,50). Όσο αφορά τις τυπικές αποκλίσεις όμως και στις δύο ομάδες οι τιμές τους είναι αρκετά μικρές, άρα η διασπορά των τιμών δεν απέχει από την μέση τιμή.

Η διαπίστωση ότι εμφανίζονται αρκετά χαμηλοί μέσοι χρόνοι απόκρισης σε αυτό το επίπεδο κατοπτρισμού, σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα που εξήχθη από την μελέτη των επιδόσεων ανά ερώτηση των συμμετεχόντων, ενισχύει το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο επίπεδο κατοπτρισμού δεν τους δημιούργησε ιδιαίτερα προβλήματα.

### **5.3.7 Στατιστική Ανάλυση των δεδομένων του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων»**

Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε τον τρόπο που απαντούσαν στις ερωτήσεις του τεστ, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση One Way Anova, που συνέκρινε τον μέσο χρόνο απόκρισης του κάθε συμμετέχοντα σε αυτό το τεστ. Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα, δηλαδή Ομάδα I χωρίς χρονικό περιορισμό και Ομάδα II με χρονικό περιορισμό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρόνος απόκρισης διέφερε σημαντικά στατιστικά σύμφωνα με τον παράγοντα ομάδα (Ομάδα I, Ομάδα II) [ $F(1,35) = 29,623, p = .0001$ ]. Πιο συγκεκριμένα η ομάδα που δεν είχε χρονικό περιορισμό (Ομάδα I) καθυστερούσε σημαντικά περισσότερο (Mean = 747,34, Std = 161,39), από την Ομάδα II η οποία είχε χρονικό περιορισμό (Mean = 481,62, Std = 93,3). Οπότε ο παράγοντας χρονικός περιορισμός έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο επηρεάζοντας τον χρόνο απόκρισης των συμμετεχόντων σε αυτό το τεστ.

Επίσης στην προσπάθεια να διερευνηθεί αν ο χρονικός περιορισμός επηρέασε το πλήθος των σωστών απαντήσεων των συμμετεχόντων στο ίδιο τεστ, χρησιμοποιήθηκε η One Way Anova ανάλυση, που συνέκρινε το σκορ του κάθε συμμετέχοντα ανά ομάδα. Η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν η ομάδα (Ομάδα I χωρίς χρονικό περιορισμό ή

Ομάδα II με χρονικό περιορισμό). Η ανάλυση έδειξε ότι σε αυτό το τεστ το πλήθος των σωστών απαντήσεων ήταν σημαντικά μεγαλύτερο για την ομάδα με τον χρονικό περιορισμό (Ομάδα II) (Mean = 14,15, Std = 2,6) σε σχέση με την ομάδα χωρίς τον χρονικό περιορισμό (Ομάδα I) (Mean = 12,08, Std = 3,35), [F(1,35) = 3,727, p = .062].

Επίσης ένα άλλο ερώτημα το οποίο θα πρέπει να διερευνηθεί είναι το αν το επίπεδο κατοπτρισμού και η γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος καθώς και η αλληλεπίδρασή τους επηρέασε τον τρόπο που απαντούσαν (μέσος χρόνος απόκρισης) κάθε ερώτηση οι συμμετέχοντες στην Ομάδα I, χωρίς τον χρονικό περιορισμό. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε Repeated Measures (Two way Anova) ανάλυση με παράγοντες το είδος κατοπτρισμού (3 επίπεδα) και την γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος (2 γεωμετρίες). Από την ανάλυση προέκυψε ότι το είδος του κατοπτρισμού επηρέασε στατιστικά σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο απαντούσαν οι συμμετέχοντες της Ομάδας I, [F(2,4) = 8,327, p = .038,  $\eta^2 = .806$ ]. Αντίθετα η γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος, όπως και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων (επίπεδο κατοπτρισμού και γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος), δεν επηρέασαν τον τρόπο με τον οποίο απαντούσαν οι συμμετέχοντες αυτής της Ομάδας.

Για να δούμε πιο συγκεκριμένα πιο επίπεδο κατοπτρισμού επηρέασε περισσότερο τους συμμετέχοντες όσο αφορά τον χρόνο απόκρισης, χρησιμοποιήθηκε Paired T-test ανάλυση. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση, οι συμμετέχοντες της Ομάδας I, χωρίς χρονικό περιορισμό, καθυστερούσαν περισσότερο να απαντήσουν σε ερωτήσεις όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το (Mean = 48,15. Std = 6,36), σε σχέση με τις ερωτήσεις όπου το επίπεδο κατοπτρισμού είναι το xz (Mean = 28,86, Std = 4,29, t(2) = 3,314, p = .080).

Όσο αφορά το ερώτημα αν ο παράγοντας επίπεδο κατοπτρισμού, γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος και η αλληλεπίδρασή τους επηρέασαν το πλήθος των σωστών απαντήσεων των συμμετεχόντων της Ομάδας I, η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο, ps > .05.

Για τα ίδια ακριβώς ερωτήματα πραγματοποιήθηκε η ίδια ανάλυση, όπως στα δεδομένα της Ομάδας I, στα δεδομένα της έρευνας που αφορούσαν την Ομάδα II, με χρονικό περιορισμό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι καμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές (επίπεδο κατοπτρισμού, γεωμετρία αρχικού ερεθίσματος), αλλά ούτε και η αλληλεπίδρασή τους δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τον μέσο χρόνο απόκρισης ανά ερώτηση σε αυτό το τεστ, ps > .05.

Στο ερώτημα αν το επίπεδο κατοπτρισμού, η γεωμετρία του αρχικού ερεθίσματος καθώς και η αλληλεπίδρασή τους, επηρέασαν το πλήθος των σωστών απαντήσεων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι δεν έπαιξαν σημαντικό ρόλο οι παραπάνω παράγοντες, στους συμμετέχοντες της Ομάδας II.

#### **5.4 Σύγκριση των Επιδόσεων και των Χρόνων Απόκρισης ανά Ομάδα του κάθε τεστ**

Προκειμένου να ελεγχθεί αν οι επιδόσεις των συμμετεχόντων της Ομάδας I και II σε κάθε ένα τεστ διαφέρουν μεταξύ τους, χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό τεστ του Mann-Whitney. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι, η μέση τιμή της Ομάδας I δεν διαφέρει από την μέση τιμή της Ομάδας II.

Όσον αφορά το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται ( $p > 0.01$ ), άρα δεν διαφέρει η μέση συνολική επίδοση μεταξύ των δύο ομάδων [ $U(13,8)=44.5$ ,  $p=0.583$ ]. Αντίθετα στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» διαφέρει σημαντικά η μέση συνολική επίδοση μεταξύ των δύο ομάδων [ $U(24,13)=71$ ,  $p < 0.0005$ ]. Τέλος για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, διαφέρει σημαντικά η μέση συνολική επίδοση των δύο ομάδων [ $U(24,13)=100$ ,  $p < 0.0005$ ].

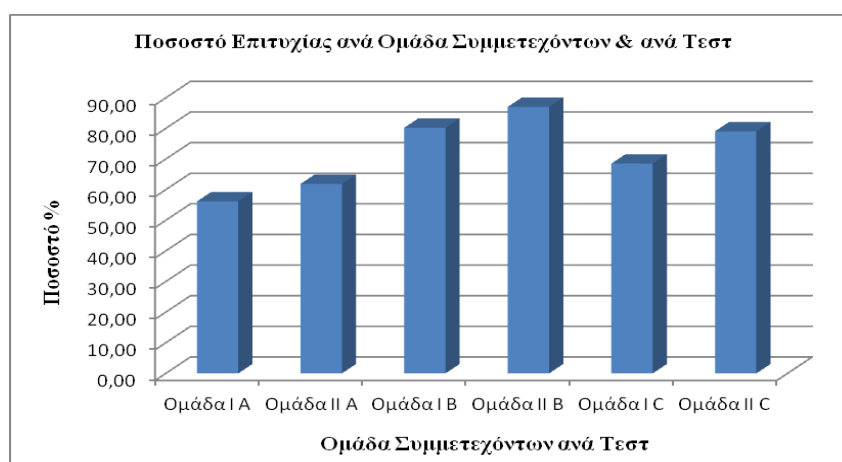
Το ίδιο μη παραμετρικό τεστ εφαρμόστηκε προκειμένου να ελεγχθεί αν οι χρόνοι των δύο ομάδων διαφέρουν μεταξύ τους. Η μηδενική υπόθεση σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο μέσος συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του τεστ από την Ομάδα I είναι ίσος με εκείνον της Ομάδας II.

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται ( $p > 0.01$ ), άρα δεν διαφέρει ο μέσος συνολικός χρόνος συμπλήρωσης των τεστ μεταξύ των δύο ομάδων [ $U(13,8)=14$ ,  $p=0.06$ ]. Αντίθετα στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» διαφέρει ο μέσος συνολικός χρόνος συμπλήρωσης του μεταξύ των δύο ομάδων [ $U(24,9)=16$ ,  $p < 0.0005$ ]. Τέλος στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» τα αποτελέσματα του μη παραμετρικού τεστ έδειξαν ότι, οι συνολικοί χρόνοι συμπλήρωσης του τεστ διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των δύο ομάδων [ $U(24,13)=26$ ,  $p < 0.0005$ ].



## 5.5 Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των επιδόσεων των πρωτοετών φοιτητών Χημείας στα τεστ

Ένας παράγοντας για την σύγκριση των τεστ θα μπορούσε να είναι το ποσοστό επιτυχίας που εμφανίζουν οι συμμετέχοντες ανά ομάδα και ανά τεστ. Το Διάγραμμα 7 παρουσιάζει το ποσοστό των σωστών απαντήσεων στο σύνολο των απαντήσεων του τεστ ανά ομάδα συμμετεχόντων και ανά τεστ. Για τις ανάγκες αυτής της παραγράφου, τα τεστ έχουν κωδικοποιηθεί ως Α για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R», Β για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και C για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Οπότε όπου για παράδειγμα εμφανίζεται Ομάδα I Α σημαίνει ότι αναφέρεται στους συμμετέχοντες της Ομάδας I και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R».



**Διάγραμμα 7:** Ποσοστό επιτυχίας ανά ομάδα συμμετεχόντων και ανά τεστ.

Φαίνεται από το Διάγραμμα 7 ότι οι περισσότερες σωστές απαντήσεις εμφανίζονται στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» σε αρκετά υψηλά ποσοστά και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I: 80,21%, Ομάδα II: 87,04%). Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων πέτυχαν σχετικά υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων στο σύνολο των απαντήσεων του τεστ (Ομάδα I: 68,52%, Ομάδα II: 79,06%). Τα ποσοστά επιτυχίας σε αυτό το τεστ είναι ελαφρώς μικρότερα από τα ποσοστά επιτυχίας του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Τέλος τα μικρότερα ποσοστά επιτυχίας των συμμετεχόντων και των δύο ομάδων εμφανίζονται στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» (Ομάδα I: 56,15%, Ομάδα II: 61,88%). Επιπλέον από μια περαιτέρω διερεύνηση των ποσοστών επιτυχίας

προκύπτει ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά και στα τρία τεστ σε σχέση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας I.

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» πιθανόν να εμφανίζεται το χαμηλότερο ποσοστό επιτυχίας από όλα τα τεστ, διότι ήταν το πρώτο τεστ που συμπληρώθηκε από τους συμμετέχοντες, χωρίς να έχουν κάνει κάποια εκπαίδευση (training) στις διεργασίες νοητικής περιστροφής προηγουμένως.

Αντίθετα στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», το δεύτερο τεστ της εφαρμογής, οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων φαίνεται πως δεν δυσκολεύτηκαν να απαντήσουν στις ερωτήσεις του διότι τα ποσοστά επιτυχίας τους είναι τα υψηλότερα από όλα τα τεστ (Ομάδα I: 80,21%, Ομάδα II: 87,04%). Ίσως σε αυτό να έπαιξε ρόλο το είδος των ερωτήσεων, διότι τα ερεθίσματα που χρησιμοποιούνται σε αυτές είναι συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις με τις οποίες μάλλον οι συμμετέχοντες είναι πιο εξοικειωμένοι. Επιπλέον το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», διαδέχτηκε το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R», το οποίο αφορούσε νοητική περιστροφή αντικειμένων. Πιθανόν η συμπλήρωση των 20 ερωτήσεων αυτού του τεστ να λειτούργησε ως εκπαίδευση για τους συμμετέχοντες, που τους βοήθησε να εξοικειωθούν με τις διεργασίες νοητικής περιστροφής και να τις εφαρμόσουν κατόπιν στο δεύτερο τεστ.

Τέλος το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», είναι το τρίτο τεστ που συμπλήρωσαν οι συμμετέχοντες και εμφανίζονται αρκετά υψηλά ποσοστά επιτυχίας και για τις δύο ομάδες (Ομάδα I: 68,52%, Ομάδα II: 79,06%). Ο κατοπτρισμός σαν διεργασία δεν εξετάστηκε στα δύο προηγούμενα τεστ, άρα οι συμμετέχοντες δεν ήταν εξοικειωμένοι με αυτού του είδους την διεργασία. Παρόλα αυτά απάντησαν σωστά στις περισσότερες ερωτήσεις και μάλλον η διεργασία του νοητού κατοπτρισμού δεν φαίνεται να τους δυσκόλεψε πολύ. Τέλος οι συμμετέχοντες της Ομάδας II στους οποίους επιβλήθηκε χρονικός περιορισμός, εμφάνισαν σε όλα τα τεστ καλύτερες επιδόσεις από τους συμμετέχοντες της Ομάδας I. Ίσως ο χρονικός περιορισμός να λειτούργησε θετικά όσον αφορά την επίδοσή τους σε κάθε τεστ. Στον Πίνακα 37 παρουσιάζεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων όσον αφορά το ποσοστό επιτυχίας και στα τρία τεστ των συμμετεχόντων και των δύο ομάδων.

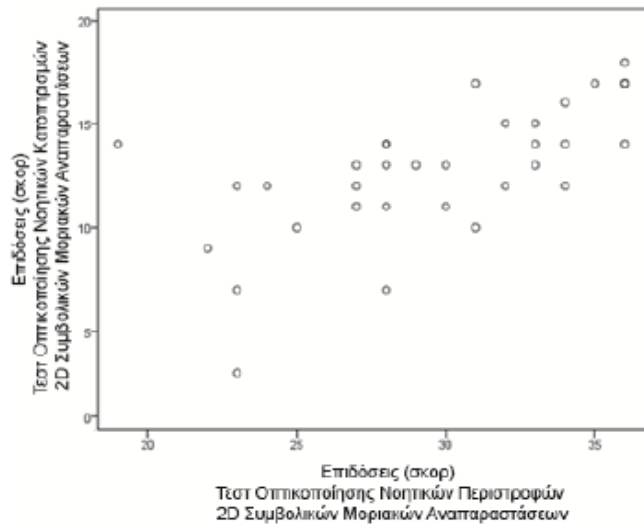
**Πίνακας 37:** Ποσοστό Επιτυχίας ανά Ομάδα Συμμετεχόντων & ανά Τεστ

<b>Τεστ</b>	<b>Ομάδα I</b>	<b>Ομάδα II</b>
<b>A</b>	56,15%	61,88%
<b>B</b>	80,21%	87,04%
<b>C</b>	68,52%	79,06%

Στο ερώτημα αν υπάρχει σχέση μεταξύ των τεστ όσον αφορά την επίδοση των συμμετεχόντων και τον χρόνο απόκρισης τους, η στατιστική ανάλυση με την χρήση του κριτηρίου υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης Pearson  $r$  μεταξύ των μεταβλητών Επίδοση στα τεστ και των μεταβλητών Συνολικός Χρόνος (min) στα τεστ, έδειξε ότι:

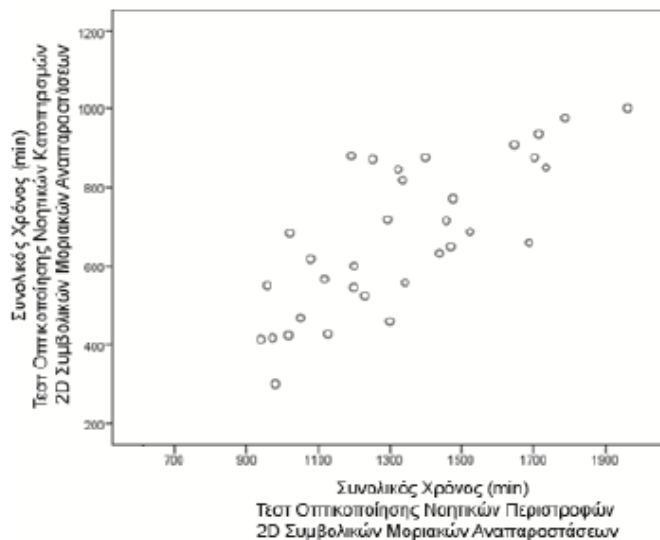
- Οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στο PSVT:R τεστ δεν σχετίζονται με τις επιδόσεις τους στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» [ $r(19) = 0.306, 0.202$ ].
- Οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στο PSVT:R τεστ εμφανίζουν χαμηλή συσχέτιση με τις επιδόσεις στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» [ $r(21) = 0.452, 0.040$ ].
- Οι επιδόσεις στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» εμφανίζουν μέτρια θετική συσχέτιση με τις επιδόσεις στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» [ $r(33) = 0.639, <0.001$ ].
- Οι χρόνοι συμπλήρωσης του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», εμφανίζουν μια μέτρια θετική συσχέτιση με τους χρόνους στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» [ $r(33) = 0.763, <0.001$ ].

Στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζεται το διαγράμμα διασποράς μεταξύ της μεταβλητής Επίδοση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», όπου εμφανίζεται μέτρια θετική συσχέτιση [ $r(33) = 0.763, <0.001$ ].



**Διάγραμμα 8:** Διάγραμμα διασποράς των μεταβλητών Επίδοση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιτροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

Στο Διάγραμμα 9 παρουσιάζεται το διαγράμμα διασποράς μεταξύ της μεταβλητής Συνολικός Χρόνος σε (min) στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιτροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», όπου εμφανίζεται μέτρια θετική συσχέτιση [ $r(33) = 0.763, <0.001$ ].



**Διάγραμμα 9:** Διάγραμμα διασποράς των μεταβλητών Συνολικός Χρόνος σε (min) στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιτροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

## 5.6 Έλεγχος Αξιοπιστίας των τεστ

Προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία των τεστ χρησιμοποιήθηκε ένας από τους ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες αξιοπιστίας, που είναι αυτός που υπολογίστηκε από τον Cronbach (1951) και ονομάζεται Cronbach's  $\alpha$  (alpha), ή δείκτης εσωτερικής συνέπειας (Internal Consistency Coefficient). Με αυτόν τον τρόπο θα επιχειρηθεί η εκτίμηση του ποσοστού της κοινής διακύμανσης μεταξύ του παρατηρούμενου και του πραγματικού σκορ σε κάθε τεστ των συμμετεχόντων.

Ο δείκτης αξιοπιστίας  $\alpha$  για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» υπολογίστηκε στο 0.65 η οποία είναι σχετικά αποδεκτή τιμή ( $\alpha=0.65$ ) και δείχνει ότι το τεστ έχει μια μέτρια αξιοπιστία. Ο συντελεστής αξιοπιστίας  $\alpha$  του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», υπολογίστηκε σε  $\alpha=0.78$  και δείχνει ότι το τεστ έχει μια καλή/αποδεκτή αξιοπιστία. Τέλος ο συντελεστής αξιοπιστίας  $\alpha$  του «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», δείχνει μια καλή/αποδεκτή αξιοπιστία του τεστ ( $\alpha=0.74$ )

## **6. Διερεύνηση και Ανάλυση της ύπαρξης συσχέτισης της Βαθμολογίας των φοιτητών Χημείας σε δύο μαθήματα Χημείας και της Επίδοσης στα τεστ Οπτικοποίησης και Νοητικού Χειρισμού 2D Συμβολικών Αναπαραστάσεων**

Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της οπτικοχωρικής ικανότητας και της επίδοσης στη Χημεία (Pribyl & Bodner, 1987; Treagust, Duit & Niewswandt, 2000; Bodner & Guay, 1997; Harle M.& Towns M., 2010). Στο πρώτο έτος του τμήματος Χημείας, το οποίο παρακολουθούν οι συμμετέχοντες του δείγματός μας, διδάσκονται τα μαθήματα της Γενικής Ανόργανης Χημείας, που είναι ένα μάθημα που σχετίζεται άμεσα με τις οπτικοποιήσεις και της Αναλυτικής Χημείας η οποία είναι ένα μάθημα που σχετίζεται άμεσα με την οπτικοποίηση της μοριακής δομής. Προκειμένου να ελέγξουμε στην έρευνά μας, αν υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της οπτικοχωρικής ικανότητας των συμμετεχόντων μας και των επιδόσεών τους στα τρία τεστ στα οποία υποβλήθηκαν, χρησιμοποιείται το κριτήριο υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης Pearson  $r$ , με επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0.01$ , μεταξύ των μεταβλητών των επιδόσεων ανά τεστ και των βαθμολογιών στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας και της Γενικής Χημείας, ανά ομάδα συμμετεχόντων. Για κάθε τεστ, η μηδενική υπόθεση είναι ότι ο βαθμός του συμμετέχοντα στο κάθε μάθημα δεν σχετίζεται με την επίδοση του στο τεστ. Η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι ο βαθμός του συμμετέχοντα σε κάθε μάθημα σχετίζεται με την επίδοσή του στο τεστ.

*Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των επιδόσεων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» και της βαθμολογίας των φοιτητών Χημείας σε δύο μαθήματα Χημείας*

Ο έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)» των συμμετεχόντων της Ομάδας I και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Γενικής Ανόργανης Χημείας έδειξε ότι, δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση διότι  $\text{Sig}>0.01$ , επομένως η βαθμολογία και η επίδοση στο τεστ δεν σχετίζονται [ $r(13) = -0.684, 0.010$ ]. Ακόμα η συσχέτιση μεταξύ της επίδοσης στο τεστ και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας έδειξε ότι, αυτές οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(13)=-0.347, 0.246$ ].

Η συσχέτιση μεταξύ της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)» των συμμετεχόντων της Ομάδας II και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Γενικής Ανόργανης Χημείας έδειξε ότι, δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ των δύο παραπάνω μεταβλητών [ $r(8)=-0.284, 0.496$ ]. Αντίθετα η συσχέτιση μεταξύ της επίδοσης στο τεστ και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας έδειξε ότι, απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση άρα οι δύο μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(8)=-0.844, 0.008$ ]. Η τιμή του  $r$  δείχνει ότι η συσχέτιση είναι ισχυρή.

*Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των επιδόσεων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και της βαθμολογίας των φοιτητών Χημείας σε δύο μαθήματα Χημείας*

Ο έλεγχος για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» των συμμετεχόντων της Ομάδας I και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Γενικής Ανόργανης Χημείας έδειξε ότι, δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο παραπάνω μεταβλητών [ $r(24)=-0.210, 0.325$ ]. Ομοίως και η συσχέτιση μεταξύ της επίδοσής τους στο τεστ και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας έδειξε ότι, η επίδοση στο τεστ και η βαθμολογία δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(24)=-0.192, 0.369$ ]. Για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II, ο έλεγχος Pearson  $r$  έδειξε ότι, η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται, άρα οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(9)=-0.243, 0.529$ ]. Το ίδιο αποτέλεσμα εξάγεται και από τον έλεγχο μεταξύ της επίδοσης τους στο τεστ και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας. Η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται, άρα οι μεταβλητές βαθμολογία στο μάθημα και επίδοση δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(9)=-0.395, 0.293$ ].

*Διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των επιδόσεων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και της βαθμολογίας των φοιτητών Χημείας σε δύο μαθήματα Χημείας*

Από την διερεύνηση για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» των συμμετεχόντων της Ομάδας I και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Γενικής Ανόργανης Χημείας προκύπτει ότι, η μηδενική υπόθεση δεν

απορρίπτεται, άρα οι δύο μεταβλητές δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(24)=-0.221, 0.299$ ]. Το ίδιο αποτέλεσμα εξάγεται και στην περίπτωση του ελέγχου της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ της επίδοσης στο τεστ και της βαθμολογίας τους στο μάθημα της Αναλυτικής Χημείας. Η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται, άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι μεταβλητές δεν σχετίζονται μεταξύ τους [ $r(24)=-0.124, 0.563$ ]. Ο αντίστοιχος έλεγχος συσχέτισης Pearson  $r$  για τους συμμετέχοντες της Ομάδας II έδειξε ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της βαθμολογίας στο μάθημα της Γενικής Ανόργανης Χημείας και της επίδοσης στο τεστ [ $r(13)=-0.531, 0.062$ ] (Sig>0.01). Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και για το μάθημα της Αναλυτικής Χημείας του οποίου ο βαθμός δεν σχετίζεται με την επίδοση στο τεστ [ $r(13)=-0.678, 0.011$ ] (Sig>0.01).



## 7. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό είχε να διερευνήσει την οπτικοχωρική ικανότητα πρωτοετών φοιτητών του τμήματος Χημείας. Για τον σκοπό αυτό έγινε η μεταφορά του Purdue Test σε ηλεκτρονική μορφή και επιπλέον σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν δύο πρωτότυπες εφαρμογές για την διερεύνηση διεργασιών περιστροφής και κατοπτρισμού σε 2D συμβολικές μοριακές αναπαραστάσεις. Η σειρά που δόθηκαν και ακολούθως συμπληρώθηκαν τα τρία τεστ από τους συμμετέχοντες ήταν το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής (PSVT:R)», το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

Προκειμένου να διερευνηθεί αυτή η ικανότητα χωρικής οπτικοποίησης, τα τεστ εφαρμόστηκαν σε δύο ομάδες συμμετεχόντων, Ομάδα I και Ομάδα II. Στην πρώτη Ομάδα (Ομάδα I) δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός κατά την συμπλήρωση των δύο χωρικών τεστ Χημείας (εκτός από το PSVT:R τεστ), ενώ στην δεύτερη (Ομάδα II) υπήρχε επιβεβλημένος, αυστηρός χρονικός περιορισμός.

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R», που αποτελεί την ηλεκτρονική μορφή του αντίστοιχου τεστ των Bodner & Guay (1977), οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων είχαν χαμηλές επιδόσεις. Αν θεωρηθεί ότι με την ηλεκτρονική μεταφορά του τεστ διατηρείται η εγκυρότητά του, τότε οι φοιτητές που αποτελούν το δείγμα της έρευνας, έχουν χαμηλή ικανότητα περιστροφής αντικειμένων και συνεπώς χαμηλή οπτικοχωρική ικανότητα.

Στην ηλεκτρονική έκδοση του PSVT:R τεστ διατηρήθηκε ο χρονικός περιορισμός των 10 λεπτών που όρισαν οι Bodner & Guay (1977) προκειμένου να περιοριστεί η εφαρμογή αναλυτικών στρατηγικών. Φαίνεται όμως ότι ο χρόνος αυτός δεν ήταν αρκετός για την συμπλήρωση του τεστ από τους συμμετέχοντες διότι 16 από τους 37 δεν ολοκλήρωσαν το τεστ.

Από την διερεύνηση των λανθασμένων ερωτήσεων φαίνεται ότι περισσότερο ακολουθείται αναλυτική στρατηγική και όχι ολιστική στρατηγική, διότι δεν διαχειρίζονται τα αντικείμενα ως μια ολότητα, αλλά μάλλον τα χωρίζουν σε τμήματα προσπαθώντας να κάνουν μια ένα προς ένα αντιστοίχιση μεταξύ των επιμέρους μερών του αρχικού και του εξεταζόμενου αντικείμενου. Για αυτό το λόγο σε ερωτήσεις όπου τα αντικείμενα έχουν διαφορετική δομή (πχ διαφορετικό σχήμα) ή διαφορετική

προοπτική (διαφορετική τοποθέτηση στον χώρο) το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων είναι αρκετά υψηλό.

Ας σημειωθεί ότι πολλά τεστ χωρικής ικανότητας απαιτούν μικρή εφαρμογή ολιστικών στρατηγικών και μεγάλη εφαρμογή αναλυτικών στρατηγικών (Bodner & Guay, 1997), όπως και στα τεστ της έρευνάς μας, τα οποία αναφέρονται συγκεκριμένα σε φοιτητές Χημείας.

Ακόμα φαίνεται ότι οι ερωτήσεις που περιελάμβαναν νοητική περιστροφή των αντικειμένων κατά  $180^\circ$ , δυσκόλεψαν αρκετά τους συμμετέχοντες. Σε ερωτήσεις που εξέταζαν περιστροφή κατά  $90^\circ$  δεν εμφανίστηκαν τόσο πολλά λάθη αντίθετα τα πιο πολλά λάθη εμφανίστηκαν σε ερωτήσεις που εξέταζαν δύο διαδοχικές περιστροφές ( $180^\circ$ ) σε διαφορετικούς άξονες.

Το είδος της διεργασίας περιστροφής μονής ή διπλής δεν επηρέασε τους μέσους χρόνους απόκρισης των συμμετεχόντων. Απλά παρατηρήθηκε ότι καθώς προχωρούσαν στο τεστ, από την πρώτη δεκάδα ερωτήσεων που εξέταζαν μονή διεργασία περιστροφής στην δεύτερη δεκάδα ερωτήσεων που εξέταζαν διπλή διεργασία περιστροφής, απαντούσαν με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα στις ερωτήσεις του. Αυτό πιθανόν να εξηγείται με εξάσκηση στη νοητική περιστροφή μέσα στο τεστ.

Το τεστ PSVT:R φαίνεται να λειτουργήσει ως εξάσκηση για το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» διότι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, οι συμμετέχοντες πέτυχαν πολύ υψηλά ποσοστά επιδόσεων (>80%) και συγκριτικά με τα άλλα τεστ τα υψηλότερα. Μάλιστα οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν τα υψηλότερα ποσοστά (87,2%) που σημαίνει ότι η επιβολή του χρονικού περιορισμού δεν τους επηρέασε όσον αφορά τις επιδόσεις τους. Το γεγονός ότι το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» συμπληρώθηκε αμέσως μετά το «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R», το οποίο αφορά διεργασία νοητικής περιστροφής αλλά σε αντικείμενα και όχι σε μοριακές δομές πιθανόν να είχε ως αποτέλεσμα οι συμμετέχοντες να εξασκήθηκαν στις 20 ερωτήσεις του PSVT:R τεστ, οπότε να ήταν πιο έτοιμοι να εφαρμόσουν την ίδια διεργασία και σε μοριακές δομές. Επίσης φαίνεται ότι ο χρονικός περιορισμός δεν επηρέασε τις επιδόσεις των φοιτητών.

Από την διερεύνηση των ερωτήσεων φαίνεται ότι παρακολουθούσαν την επίδραση της διεργασίας περιστροφής στα σύμβολα των ατόμων και των δεσμών και κυρίως του κατακόρυφου δεσμού του υποκαταστάτη A και προσπαθούσαν να αντιστοιχίσουν τα

γράμματα των υποκαταστατών μεταξύ της αρχικής μοριακής δομής και της εξεταζόμενης και ακολουθούσαν την επίδραση της διεργασίας περιστροφής σε αυτούς τους υποκαταστάτες.

Ο εξεταζόμενος άξονας και η γωνία περιστροφής φαίνεται να διευκολύνουν ή δυσκολεύουν τις απαντήσεις των φοιτητών, ενώ δεν παρατηρείται συγκεκριμένη επίδραση της εξεταζόμενης μοριακής γεωμετρίας. Τα περισσότερα λάθη σημειώθηκαν στις ερωτήσεις που εξετάζουν νοητική περιστροφή γύρω από τους άξονες  $y$  και  $z$ , ενώ τα λιγότερα λάθη σημειώθηκαν στις ερωτήσεις που εξετάζουν νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $x$ .

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διερεύνησης, οι συμμετέχοντες και των δύο ομάδων καθυστέρησαν περισσότερο να απαντήσουν στις ερωτήσεις μονής περιστροφής γύρω από τους άξονες  $x$  και  $y$  από ότι στις ερωτήσεις διπλής περιστροφής γύρω από τους ίδιους άξονες. Αυτό πιθανόν να σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες έκαναν εξάσκηση μέσα στο ίδιο το τεστ, διότι οι ερωτήσεις απλής περιστροφής προηγούνταν της διπλής. Αντίθετα οι διεργασίες νοητικής περιστροφής γύρω από τον  $z$  άξονα φαίνεται να μην καθυστέρησαν τους συμμετέχοντες

Επιπλέον η γεωμετρία του αρχικού ερέθισματος ( $a_1, b_1$ ), φαίνεται να επηρέασε τον μέσο χρόνο απόκρισης των συμμετεχόντων της Ομάδας I ο οποίος εμφανίζεται μικρότερος σε ερωτήσεις που εξετάζουν νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $z$  κατά  $90^\circ$  από ότι κατά  $180^\circ$  όταν το αρχικό ερέθισμα έχει γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας ( $a_1$ ), διότι πιθανόν να ήταν πιο εύκολο για αυτούς να εντοπίσουν διακριτούς υποκαταστάτες στον χώρο στο αρχικό ερέθισμα και με βάση αυτόν τον εντοπισμό να πραγματοποιήσουν την νοητική περιστροφή στο εξεταζόμενο ερέθισμα.

Οι συμμετέχοντες της Ομάδας II καθυστέρησαν περισσότερο να απαντήσουν σε ερωτήσεις που εξέταζαν νοητική περιστροφή μοριακής αναπαράστασης με γεωμετρία τετραγωνικής πυραμίδας  $b_1$  (ερωτήσεις 19-36) από ότι με γεωμετρία  $a_1$  στον άξονα  $x$  σε σχέση με τον  $y$ . Ένας λόγος πιθανόν να είναι η εξοικείωση με διεργασίες νοητικής περιστροφής με γεωμετρία ερέθισματος τετραγωνικής πυραμίδας  $a_1$ , που εξετάζονται από τις προηγούμενες 18 ερωτήσεις. Ένας ακόμα λόγος ίσως να είναι το ότι οι ερωτήσεις που εξετάζουν νοητική περιστροφή γύρω από τον άξονα  $y$  με αρχικό ερέθισμα γεωμετρίας τετραγωνικής πυραμίδας  $b_1$  είναι οι τελευταίες του τεστ στις οποίες οι συμμετέχοντες εμφάνισαν μικρούς μέσους χρόνους απόκρισης, διότι ίσως να

μην προλάβαιναν εξ αιτίας του χρονικού περιορισμού, ή να κουράστηκαν ή να βαρέθηκαν λόγω των πολλών ερωτήσεων του τεστ.

Στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» η επιβολή του χρονικού περιορισμού οδήγησε σε καλύτερες επιδόσεις τους συμμετέχοντες της Ομάδας II. Πιθανόν η πίεση του χρόνου να λειτούργησε με θετικό τρόπο σε αυτούς κάνοντάς τους να απαντούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα στις ερωτήσεις. Γενικά όμως όλοι οι συμμετέχοντες εμφάνισαν σχετικά καλές επιδόσεις, όχι όμως τόσο καλές όσο στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων». Αυτό μπορεί να εξηγηθεί είτε εξ αιτίας της κούρασης των συμμετεχόντων, αφού το τεστ συμπληρώθηκε τελευταίο, είτε εξ αιτίας του ότι αφορούσε άλλου είδους διεργασία (διεργασία κατοπτρισμού).

Το εξεταζόμενο επίπεδο κατοπτρισμού και η γεωμετρία της αρχικής μοριακής δομής (b1) και η αλληλεπίδρασή τους φαίνεται να διευκολύνουν ή να δυσκολεύουν τους συμμετέχοντες όσον αφορά τις επιδόσεις τους. Πιο συγκεκριμένα το επίπεδο κατοπτρισμού που τους φάνηκε πιο εύκολο, ήταν το επίπεδο xz, που είναι κάθετο στην επιφάνεια της οθόνης. Πιθανόν αυτό το επίπεδο να διευκόλυνε την αναλυτική στρατηγική που ακολουθούσαν οι συμμετέχοντες, προσπαθώντας να αντιστοιχίσουν τα ονόματα των υποκαταστατών και να παρακολουθήσουν την διεργασία του νοητικού κατοπτρισμού στην θέση των συμβόλων αυτών των υποκαταστατών. Αντίθετα τα επίπεδα που τους δυσκόλεψαν περισσότερο ήταν το yz και xy όταν το αρχικό ερέθισμα είχε μοριακή δομή b1.

Από την διερεύνηση των ερωτήσεων όσον αφορά τους χρόνους απόκρισης των συμμετεχόντων φαίνεται ότι οι συμμετέχοντες της Ομάδας I καθυστερούσαν να απαντήσουν σε σχέση με τους συμμετέχοντες της Ομάδας II. Επιπλέον στο επίπεδο xz εμφανίζονται οι χαμηλότεροι μέσοι χρόνοι απόκρισης για όλους τους συμμετέχοντες σε αντίθεση με τα άλλα δύο επίπεδα. Μια πιθανή εξήγηση είναι το ότι οι ερωτήσεις που εξετάζουν διεργασίες κατοπτρισμού στο επίπεδο xz έπονται των ερωτήσεων που εξετάζουν διεργασίες κατοπτρισμού στα άλλα επίπεδα, οπότε πιθανόν να γίνεται εξάσκηση μέσα στο τεστ. Άλλες πιθανές εξηγήσεις είναι είτε λόγω περιορισμένου χρόνου, είτε λόγω κούρασης των συμμετεχόντων.

Γενικά οι διεργασίες νοητικής περιστροφής 2D συμβολικών μοριακών αναπαραστάσεων φαίνεται να είναι πιο εύκολες για όλους τους συμμετέχοντες σε σχέση με την νοητική περιστροφή αντικειμένων και τον νοητικό κατοπτρισμό. Οι

διεργασίες του νοητικού κατοπτρισμού δεν φαίνεται να δυσκόλεψαν τους συμμετέχοντες και των δύο ομάδων. Αντίθετα εκεί που φαίνεται ότι δυσκολεύτηκαν περισσότερο όλοι οι συμμετέχοντες ήταν στις διεργασίες νοητικής περιστροφής αντικειμένων.

Οι επιδόσεις στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» καθώς και στο «Τεστ Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» δεν σχετίζονται με το PSVT:R τεστ. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι στα τεστ με 2D μοριακές αναπαραστάσεις οι συμμετέχοντες εφαρμόζουν διαφορετικές στρατηγικές και όχι νοητική περιστροφή ή κατοπτρισμό.

Επιπλέον το γεγονός ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων» και στο «Τεστ Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων», τα οποία εξετάζουν διεργασίες νοητικής περιστροφής και νοητικού κατοπτρισμού 2D μοριακών αναπαραστάσεων, αποτελεί ένδειξη ότι για την συμπλήρωσή τους οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν παρόμοιες στρατηγικές.

Σε όλα τα τεστ οι συμμετέχοντες της Ομάδας II εμφάνισαν καλύτερες επιδόσεις. Επίσης σε όλα τα τεστ σε ερωτήσεις με αυξημένο αριθμό λαθών εμφανίζονται υψηλοί μέσοι χρόνοι απόκρισης.

Τέλος φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των επιδόσεων στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» και της βαθμολογίας των συμμετεχόντων της Ομάδας I στο μάθημα Γενική Ανόργανη Χημεία. Συσχέτιση φαίνεται να υπάρχει και μεταξύ της επίδοσης στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικής Περιστροφής PSVT:R» και της βαθμολογίας των συμμετεχόντων της Ομάδας II στο μάθημα Αναλυτική Χημεία. Ακόμα συσχέτιση φαίνεται να υπάρχει στην βαθμολογία των συμμετεχόντων της Ομάδας II και στα δύο μαθήματα με την επίδοση στο «Τεστ Οπτικοποίησης Νοητικού Κατοπτρισμού 2D Συμβολικών Μοριακών Αναπαραστάσεων».

Μελλοντικά προτείνεται η έρευνα αρχικά να επεκταθεί σε μεγαλύτερο δείγμα. Ενδιαφέρον θα είχε να περιλαμβάνει πληθυσμούς από άλλα πανεπιστήμια, ώστε να γίνει σύγκριση της οπτικοχωρικής ικανότητας μεταξύ των δύο φύλων, η οποία δεν ήταν εφικτή στην παρούσα έρευνα εξ αιτίας του μεγάλου αριθμού των γυναικών έναντι των ανδρών. Σημαντική θα ήταν και η επέκταση της έρευνας σε διάφορες ηλικιακές ομάδες, ώστε να περιλαμβάνει μαθητές λυκείου, φοιτητές σε αρχικό έτος

σπουδών, φοιτητές σε μεγαλύτερο έτος σπουδών του Χημικού τμήματος, καθηγητές Χημείας, με σκοπό

- Να γίνει διερεύνηση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ του επιπέδου της οπτικοχωρικής ικανότητας και της ηλικίας
- Να γίνει σύγκριση της οπτικοχωρικής ικανότητας σε έμπειρους και αρχάριους Χημικούς
- Να γίνει συσχέτιση της προηγούμενης γνώσης στη Χημεία με την οπτικοχωρική ικανότητα

Τέλος θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα μια αλλαγή στο σχεδιασμό της όλης εφαρμογής, ώστε οι ερωτήσεις να εμφανίζονται ανακατεμένες. Για παράδειγμα να μην εμφανίζονται πρώτα οι ερωτήσεις όπου ο άξονας περιστροφής είναι ο x και κατόπιν οι ερωτήσεις όπου ο άξονας περιστροφής είναι ο y ή να μην εμφανίζονται πρώτα οι ερωτήσεις όπου η γωνία περιστροφής είναι  $90^\circ$  και κατόπιν οι ερωτήσεις όπου η γωνία περιστροφής είναι  $180^\circ$ .

## 8. Βιβλιογραφία

- Ainsworth S., VanLabeke N., 2004, "Multiple Forms of Dynamic Representation", *Learning and Instruction*, 14, 241-255.
- Aho V. A., Hopcroft E. J., Ullman D. J., 1983, "Data Structures and algorithms", Addison-Wesley.
- Ardac D., Akaygum S., 2005, "Using Static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level", *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- Baker S., Talley L., 1993, "Visualization Skills as a Component of Aptitude for Chemistry-A Construct Validation Study", *Journal of Research in Science Teaching*, 11(2), 95-97.
- Barke H., Engida T., 2001, "Structural Chemistry and Spatial Ability in Different Cultures", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(3), 227-239.
- Barnea N., Dori J. Y., 1996, "Computerized Molecular Modeling as a tool to Improve Chemistry Teaching", *Journal of Chemical Information and Computer Science*, 36, 629-636.
- Barnea N., Dori Y. J., 2000, "Computerized Molecular Modelling-The new Technology for Enhancing Model Perception among Chemistry Educators and Learners", *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 1, 109-120.
- Barnea N., Dori Y., 1996, "Computerized Molecular Modeling as a Tool to Improve Chemistry Teaching", *Journal Chem. Inf. Comput. Sci.* 36, 629-636.
- Bodner G.M., Guay R.B., 1997, "The Purdue Visualization of Rotations Test", *The Chemical Educator*, 2(4), 1-18.
- Brownlow S., McPherson K. T., Acks N. C., 2003, "Science Background and Spatial Abilities in Man and Woman", *Journal of Science Education and Technology*, 12(4), 371-380.
- Bucat B., Mocerino M., 2009, "Learning at the Sub-Micro Level: Structural Representations", Chapter 4, 11-29.
- Carroll J. B., 1993, "Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor Analytic Studies.", Cambridge: Cambridge University Press.
- Carter S. C., LaRussa A. M., Bodner M. G., 1987, « A Study of Two Measures of Spatial Ability as Predictors of Success in Different Levels of General Chemistry", *Journal of Research in Science Teaching*, 24(7), 645-657.
- Coleman, S. L., & Gotch, A. J. (1998). Spatial Perception Skills of Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 75(2), 206-209.

- Coll K. R., 2006, "The Role of Models, Mental Models and Analogies in Chemistry Teaching", *Metaphor and Analogy in Science Education Science & Technology Education Library*, 30, 65-77.
- Cook M. P., 2006, "Visual Representations in Science Education: The Influence of Prior Knowledge and Cognitive Load Theory on Instructional Design principles", *Science Education*, 90, 1073-1091.
- Dori J. Y., Barak M., 1999, "Computerized Molecular Modelling as a Collaborative Learning Environment", *CSCL '99 Proceedings of the 1999 conference on Computer support for Collaborative Learning*, Article No. 16.
- Dori Y., Barak M., 2001, "Virtual and Physical Molecular Modeling : Fostering Model Perception and Spatial Understanding", *Educational Technology & Society*, 4(1).
- D'Oliviera C. T., 2009, "Dynamic Spatial Ability: An Exploratory Analysis and a Confirmatory Study", *The International Journal of Aviation Psychology*, 14(1), 19-38.
- Dunbar K., 1995, "How Scientists really Reason: Scientific Reasoning in Real-World Laboratories", In R. J. Sternberg & J. Davidson (Eds.). *Mechanisms of insight* (365-395). Cambridge MA:MIT press. Available at <http://www.dartmouth.edu/~kndunbar/DunbarStern.pdf>.
- Ferk V., Vrtackik M., Blejec A., Gril A., 2003, "Students' Understanding of Molecular Structure Representations", *International Journal of Science Education*, 25(10), 1227-1245.
- Fennema, E., Tartre, L. A., 1985, "The use of spatial visualization in mathematics by girls and boys" *Journal for Research in Mathematics Education*, 16(3), 184-206.
- Flanery, R. C., Balling, J. D., 1979, "Developmental changes in hemispheric specialization for tactile spatial ability", *Developmental Psychology*, 15(4), 364-372.
- Gabel D., 1999, "Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future", *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gilbert K. J., 2004, "Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education", *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Hegarty M, Waller A., D., 2005, "Individual Differences in Spatial Abilities", *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, Shah P., Miyake Akira (Eds), 121-131, New York: Cambridge University Press.
- Hegarty M., 2010, "Components of Spatial Intelligence", Chapter 7, *Psychology of Learning and Motivation*, 52, 265-297.



Halpern, D. F., 1986, "A different answer to the question, "Do sex-related differences in spatial abilities exist?"", *American Psychologist*, 41, 1014-1015.

Harbaken C.L., 1996, "Why is the Common Perception of Chemistry, the Most Visual of Sciences, so Distorted?", *Journal of Sciences Education and Technologies*, 5, 193-200.

Harle M., Towns M., 2010, "A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction", *Journal of Chemical Education*, 88(3), 351-360.

Heitzman M., Krajcik J., 2005, 'Urban Seventh-grader's Translations of Chemical Equations: What Parts of the Translation Process do Students Have Trouble?', Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, Texas. Available at: [http://www.umich.edu/~hiceweb/iqwst/Papers/Heizman\\_KrajcikNARST2005.pdf](http://www.umich.edu/~hiceweb/iqwst/Papers/Heizman_KrajcikNARST2005.pdf).

Hoffler N. T., 2010, "Spatial Ability : Its Influence on Learning with Visualizations-A Meta-Analytic Review", *Educational Psychology Review*, 22(3), 245-269.

Johnstone A.H., 1993, "The Development of Chemistry Teaching", *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.

Johnstoke A.H. 2000, "Teaching of Chemistry-Logical or Psychological?", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.

Jones L. L., Jordan K. D., Stillings N. A., 2005, "Molecular Visualization in Chemistry Education: The Role of Multidisciplinary Collaboration", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 6, 136-149.

Jones L., Jordan K., Stillings N., 2000, "Molecular Visualization in Science Education", Available at <http://pro3.chem.pitt.edu/workshop/workshoprerort180701>

Justi R., Gilbert J. K., 2000, "History of Philosophy of Science Through Models: Some Challenges in the case of 'the atom'", *International Journal of Science Education*, 22, 993-1009.

Kang W. H., Mohler L. J., Choi S., Chen Y., Zheng C., 2011, "A Qualitative Study Examining the Spatial Ability Phenomenon from the Chinese Student Perspective", *EDGJ*, 75(2), 9-22.

Keig F. P., Rubba A. P., 1993, "Translation of Representations of the Structures of Matter and its Relationship, Gender, Spatial Reasoning, and Specific Prior Knowledge", *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883-903.

Kimura D., 1992, "Sex Differences In The Brain", *Scientific American*, 267(9), 118-125.

- Kimura D., 1996, "Sex, Sexual Orientation and Sex Hormones Influence Human Cognitive Function", *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 259-263.
- Kozma R., Russell J., 1997, "Multimedia and Understanding: expert and Novice Responses to Different representations of Chemical Phenomena", *Journal of Research in Science and Teaching*, 43(9), 949-968.
- Kozma R.B., Chin E., Russell J., Marx N., 2000, "The Role of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and their Indications for Chemistry Learning", *Journal of the Learning Sciences*, 9, 105-144.
- Kozma R., Russell J., 2005, "Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence", *Visualization in Science Education Models and Modeling in Science Education*, 1, 121-145.
- Lee L. K., Goi N., Chia L., 1996, "Cognitive Variables In Problem Solving in Chemistry: A Revisited Study", *Science Education*, 80(6), 691-710.
- Levine C. S., Vasilyeva M., Lourenco F. S., Newcombe S. N., Huttenlocher J., 2006, "Socioeconomic Status Modifies the Sex Difference in Spatial Skill", *Psychological Science*, 16(11), 841-845.
- Lord R. T., 1990, "Enhancing Learning in the Life Sciences through Spatial Perception", *Innovative Higher Education*, 15(1), 5-16.
- Mohler L. J., 2008, "A Review of Spatial Ability Research", *Engineering Design Graphics Journal*, 72(3), 19-30.
- Nakhleh M., Krajcik J., 1993, "A Protocol Analysis of the Influence of Technology on Student's Actions, Verbal Commentary, and Thought Processes during the Performance of Acid-base Titrations", *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1149-1168.
- Palmer E. S., 1990, "Modern Theories of Gestalt Perception", *Mind & Language*, 5(4), 289-323.
- Parsons D. T., Larson P., Kratz K., Thieboux M., Bluestein B., J. Galen Buckwalter J. G., Rizzo A. A., 2004, "Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment", *Neuropsychologia*, 42, 555-562.
- Piaget, J., Inhelder, B., 1971, "Mental imagery in the child" (F. W. Langdon & J.L Lunzer, Trans.), New York: Basic Books, Book (ISBN 0710069219 ), 369p, 2009.
- Piaget, J., Inhelder, B., 1967, "*Child's conception of space*" (F. W. Langdon & J.L Lunzer, Trans.). New York: Norton.
- Pribyl R. J., Bodner M. G., 1987, " Spatial ability and its Role in Organic Chemistry: A Study of Four Organic Courses", *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 229-240.

- Rilea L. S., Roskos-Ewoldsen B., Boles D., 2004, "Sex Differences in Spatial Ability: A Lateralization of Function Approach", *Brain and Cognition*, 56, 332-343.
- Salthouse, T. A., Babcock, R. L., Mitchell, D. R. D., Palmon, R., & Skovronek, E., 1990, "Sources of individual differences in spatial visualization ability", *Intelligence*, 14, 187-230.
- Salthouse, T. A., Mitchell, D. R. D., 1990, "Effects of age and naturally occurring experience on spatial visualization performance", *Developmental Psychology*, 26(5), 845-854.
- Shute J. V. , Pellegrino W. J., Hubert L., Reynolds W. R., 1983, "The Relationship Between Androgen Levels and Human Spatial Abilities", *Bulletin of the Psychonomic Society*, 21(6), 465-468.
- "Spatial Abilities Literature Overview", Donohue-visual Spatial Abilities Overview (draft as of 07.12.10), 1-13.
- Sorby A. S., 1999, "Developing 3-D Spatial Visualization Skills", *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2), 21-32.
- Taber K., 2009, "Learning at the Symbolic Level", Chapter 4, 75-105.
- Thagard P., 1997, "Coherent and Creative Conceptual Combinations. In T.B. Ward, S.M. Smith & J. Viad (Eds), *Creative Thought: An Investigation of Conceptual Structures and Processes* (129-141). Washington D.C.: American Psychological Association.
- Titus S., Horsman E., 2009, "Characterizing and Improving Spatial Visualization Skills", *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 242-254.
- Treagust D. F., Harrison A. G., 1999, "The Genesis of Effective Scientific Explanations for the Classroom", In J. Loughran (ed), *Researching Teaching: Methodologies and Practices for Understanding Pedagogy* (London: Falmer Press), 28-43.
- Treagust D., Duit R., Niewswandt M., 2000, "Sources of Students' Difficulties in Learning Chemistry", *Educacio'N, Qui'Mica*, 11, 228-235.
- Treagust D.F., Chittleborough G., Mamiala T.L., 2003, "The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations", *International Journal of Science Education*, 25, 1353-1368.
- Tuckey H., Selvaratman M., Bradley J., 1991, "Identification and Rectification of Student Difficulties Concerning Three-Dimensional Structures, Rotation and Reflection", *Journal of Chemical Education*, 68, 460-464.

Tuckey H, Salvaratnam M., 1993, “Studies Involving Three-Dimensional Visualisation Skills in Chemistry: A Review”, *Studies in Science Education*, 21(1), 99-121.

Vogel J. J., Bowers A. C., Vogel S. D., 2003. “Cerebral lateralization of Spatial Abilities: A Meta-Analysis”, *Brain and Cognition*, 52, 197-204.

Weiss E., Siedentopf M. C., Hofer A., Deisenhammer A. E., Hoptman J, Kremser C. M., Golaszewski S., S. Felber S., Fleischhacker W. W., Delazer M., 2003, “Sex differences in brain activation pattern during a visuospatial cognitive task: a functional magnetic resonance imaging study in healthy volunteers”, *Neuroscience Letters*, 344, 169-172.

Williamson V., Abraham M., 1995, “The Effects of Computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students”, *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.

Wu H. K., 2003, “Linking the Microscopic View of Chemistry to Real Life Experiences: Intertextuality in a High-school Science Classroom”, 87, 868-891.

Wu H., Krajcik S. J., Soloway E., 2001, “Promoting Understanding of Chemical Representations: Students’ Use of a Visualization Tool in the Classroom”, *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.

Wu H., Shah P., 2004, “Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning”, *Science Education*, 88(3), 465-492.

Yilmaz B. H., 2009, “On the Development and Measurement of Spatial Ability”, *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(2), 83-96.

Αντώνογλου Δ. Λ., 2011, “Σχεδιασμός, Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση του Υβριδικού Μοντέλου Διδασκαλίας της Μοριακής Συμμετρίας”, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δημητριάδης Σ. Ν., (2004), “Εισαγωγή στην Χρήση Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση (ΤΠΕ), Έκδοση 1.8, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσαούσης Ιωάννης, 2008, “Μετρώντας την Χωρο-Αντιληπτική Ικανότητα: Η ανάπτυξη και τα Ψυχομετρικά Χαρακτηριστικά του Τεστ Αντίληψης Χώρου (TAX)”, *Psychology*, 15(4), 411-431.