

## **Αναστοχασμός και μεταγνωστικές δεξιότητες κατά την επίλυση προβλημάτων φυσικής με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα**

**Ιωάννης Σούλιος, Ελευθερία Γωνίδα, Δημήτρης Ψύλλος**

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,*

[soulios@eled.auth.gr](mailto:soulios@eled.auth.gr), [gonida@psy.auth.gr](mailto:gonida@psy.auth.gr), [psillos@eled.auth.gr](mailto:psillos@eled.auth.gr)

**Περίληψη:** Ένα σύνολο 34 μαθητών επιλέχθηκε από ένα τυχαίο δείγμα 92 μαθητών Στ΄ Δημοτικού και κατατάχθηκαν σε 4 ομάδες σύμφωνα με τα νοητικά τους μοντέλα για τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Οι μαθητές αυτοί κλήθηκαν να λύσουν δυο προβλήματα με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα διαφορετικής δυσκολίας και στη συνέχεια (α) να αναστοχαστούν επί της διαδικασίας επίλυσης μέσω κατάλληλων προτροπών αμέσως μετά τη λύση κάθε προβλήματος και (β) να δώσουν τις εκτιμήσεις τους για τη δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για τη λύση πριν και μετά τον αναστοχασμό. Η όλη διαδικασία μαγνητοφωνήθηκε και καταγράφηκε σε πρωτόκολλα συνεντεύξεων. Η ανάλυση των πρωτοκόλλων κατέδειξε την επίδραση του αναστοχασμού στη γνωστική επίδοση αλλά και τους μηχανισμούς εκείνους που διαμορφώνουν τις μεταγνωστικές δεξιότητες σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα κατά την επίλυση προβλημάτων φυσικής.

### **Εισαγωγή**

Η προτροπή για αναστοχασμό κατά την επίλυση προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες, βρέθηκε ότι παρέχει ανατροφοδότηση στο μαθητή για το βαθμό κατανόησής του, καθώς παρακολουθεί και αξιολογεί τη σκέψη και την πορεία του προς τη μάθηση. Επιπλέον, βρέθηκε ότι ο αναστοχασμός οδηγεί σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα στα πιο σύνθετα προβλήματα (Hollingworth & McLoughlin, 2001), η διαδικασία έρευνας στις φυσικές επιστήμες κατανοείται καλύτερα (White & Frederiksen, 1998) και βοηθά τους μαθητές να αποκτήσουν ενημερότητα για τις διαισθητικές τους ιδέες και να οδηγηθούν σε εννοιολογική αλλαγή (Bell & Linn, 2000). Ως αναστοχασμός, θεωρείται η διαδικασία εκείνη κατά τη οποία ο μαθητής ξανασκέφτεται πάνω στη διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος. Οι μαθητές χρησιμοποιούν τον αναστοχασμό επί της διαδικασίας μάθησης και ασκούν έλεγχο πάνω στη δική τους μάθηση. Επομένως, η διαδικασία του αναστοχασμού αποτελεί στοιχείο ορισμού της μεταγνωστικής δραστηριότητας. Οι Inhelder και Piaget (1958) υποστήριξαν ότι η δυνατότητα για αναστοχασμό πάνω στην ίδια τη σκέψη, παρατηρείται γενικώς στην εφηβεία και όχι σε νεότερους μαθητές, σημείωσαν όμως ότι η ηλικία δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας. Οι Craig και Yore (1995), διαπίστωσαν ότι η μεταγνωστική γνώση των μαθητών ως προς το μάθημα της φυσικής και τις στρατηγικές επίλυσης τέτοιων προβλημάτων ήταν σε επιφανειακό επίπεδο. Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών για τις μεταγνωστικές εμπειρίες κατά την επίλυση έργων που αναφέρονταν σε φαινόμενα θερμότητας (Gonida, Kiosseoglou, Psillos, 2003), και ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Σούλιος, Γωνίδα, Ψύλλος, 2004), οι μαθητές των δύο τελευταίων τάξεων του δημοτικού σχολείου, αν και γενικά υποτιμούν τη δυσκολία ενός έργου και υπερεκτιμούν την επίδοσή τους και τη βεβαιότητά τους γι' αυτή, φαίνεται ότι έχουν αρχίσει να συνδέουν τις μεταγνωστικές τους εκτιμήσεις με τη γνωστική τους επίδοση, τουλάχιστον σε έργα που δεν εγείρουν υψηλές γνωστικές και μεταγνωστικές απαιτήσεις.

Οι Chi, Bassok, Lewis, Reiman και Glaser (1989) προτρέποντας μαθητές γυμνασίου να εξηγήσουν προβλήματα που είχαν λύσει, τα οποία λειτουργούσαν ως παραδείγματα, βρήκαν ότι οι μαθητές με χαμηλή επίδοση στις φυσικές επιστήμες, παράγουν μικρότερο αριθμό εξηγήσεων και αναγνωρίζουν και κατανοούν σε μικρότερο βαθμό τα λάθη τους και τις αδυναμίες, σε αντίθεση με τους επιτυχημένους, οι οποίοι είναι πιο ικανοί στην επισήμανση λαθών, ένας παράγοντας ο οποίος βρέθηκε ότι είναι σημαντικός για την παραγωγή νέων εξηγήσεων. Επίσης, έχει δειχθεί ότι γενικού τύπου προτροπές, της μορφής «στάσου και σκέψου» δημιουργούν μια ατμόσφαιρα αναστοχασμού που διαχέεται σε όλο το πρόγραμμα, είναι πιο παραγωγικές και αποτελεσματικές και βοηθούν το μαθητή να αναδείξει και να κριτικάρει τις ιδέες του, να αναδιοργανώσει τη γνώση του και να αναπτύξει μια πιο συνεπή και λογική κατανόηση για τα φαινόμενα (Davis, 2003).

Ωστόσο, οι μηχανισμοί με τους οποίους ο αναστοχασμός οδηγεί σε εννοιολογική αλλαγή έχει πολύ λίγο μελετηθεί. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού μεγάλη σημασία έχουν οι μεταγνωστικού τύπου αναφορές (meta-statements) και εκδηλώσεις συμπεριφοράς όπως, παύσεις και οι αναφορές αβεβαιότητας (ums) σε σημεία γνωστικής σύγκρουσης, αναφορές παρακολούθησης ή αποτυχίας κατανόησης, επαναλήψεις των ίδιων των εξηγήσεων που τα ίδια τα παιδιά παράγουν, μακροσκελείς αυτο-εξηγήσεις σε αντίθεση με σύντομες και ονομαστικές, καθώς και οι περιπτώσεις εκείνες στις οποίες παρατηρείται απόρριψη μιας ιδέας και υιοθέτηση μιας νέας (Chi, 2000). Σημαντικοί παράγοντες που οδηγούν σε εννοιολογική αλλαγή αναφέρονται, επίσης, οι διαδικασίες διεύρυνσης του ρεπερτορίου των ιδεών, διάκρισης μεταξύ των ιδεών, δημιουργίας σχέσεων ανάμεσά τους και αναγνώρισης της αδυναμίας της τρέχουσας γνώσης (Linn, 1995). Ο αναστοχασμός φαίνεται να είναι περισσότερο παραγωγικός όταν οι μαθητές διευρύνουν το ρεπερτόριο των ιδεών, ανακαλύπτουν την αδυναμία της γνώσης τους, συνδυάζουν διαδικασίες ενσωμάτωσης της γνώσης και εμπρόθετα ενσωματώνουν τη καινούρια γνώση στη προηγούμενη (Davis, 2003).

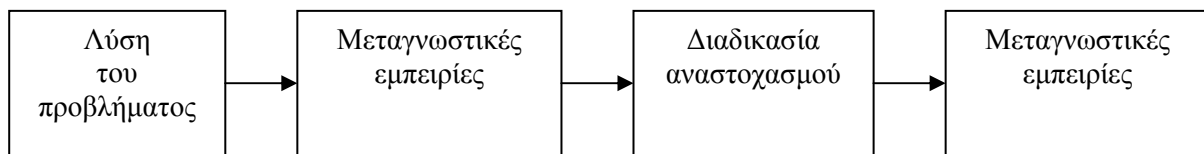
Η έρευνα αυτή κινείται σ' αυτήν την προβληματική και επιχειρεί να διερευνήσει τους μηχανισμούς εκείνους με τους οποίους ο αναστοχασμός φαίνεται να επιδρά στη γνωστική επίδοση και στη διαμόρφωση της μεταγνωστικής ενημερότητας σε μαθητές Δημοτικού. Πιο συγκεκριμένα, τα ερωτήματα της έρευνας ήταν: (α) Η διαδικασία του αναστοχασμού έχει άμεση επίδραση στην εκδήλωση μεταγνωστικών διεργασιών και στη βελτίωση της γνωστικής επίδοσης; (β) Η επίδραση του αναστοχασμού διαφοροποιείται σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα; (γ) Ποιοι είναι οι παράγοντες που ενδυναμώνουν ή αποδυναμώνουν την επίδραση του αναστοχασμού σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα; Ο αναστοχασμός αναμένεται να συμβάλλει στην βελτίωση της ακρίβειας των μεταγνωστικών εμπειριών και της γνωστικής επίδοσης των μαθητών. Επιπροσθέτως, τα νοητικά μοντέλα που συναντούμε φαίνεται να στηρίζονται σε διαφορετικούς τρόπους σκέψης και αιτιολόγησης και έχουν τους δικούς τους διαφορετικούς ερμηνευτικούς περιορισμούς και δυνατότητες αλλαγής. Η επίδραση, επομένως, του αναστοχασμού σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα φαίνεται να ενδυναμώνεται ή να περιορίζεται από διαφορετικούς παράγοντες. Η διερεύνηση των παραγόντων αυτών είναι σημαντική για τη μάθηση και τη διδασκαλία στο χώρο των φυσικών επιστημών.

## Μέθοδος

### Σχεδιασμός

Αρχικά, ένα σύνολο μαθητών κλήθηκε να επιλύσει και να εξηγήσει 5 προβλήματα διαφορετικής δυσκολίας με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Οι μαθητές, με βάση την ποιοτική ανάλυση των εξηγήσεων των μαθητών διακρίθηκαν σε 4 ομάδες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχούσε στο κυρίαρχο ερμηνευτικό μοντέλο των μαθητών για τα ηλεκτρικά

κυκλώματα. Ως κυρίαρχο μοντέλο θεωρήθηκε εκείνο με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στα υπό εξέταση έργα. Συγκεκριμένα, οι 4 ομάδες ήταν: (i) μονοπολικό μοντέλο και άλλα απόλυτα φαινομενολογικά μοντέλα, (ii) μοντέλο των αντικρουόμενων ρευμάτων (iii) μοντέλο εξασθένησης και επιμεριστικό και (iv) επιστημονικό μοντέλο. Από τις 4 ομάδες που σχηματίστηκαν, επιλέχθηκαν τυχαία κάποιοι μαθητές οι οποίοι και αποτέλεσαν το δείγμα της παρούσης έρευνας, οι οποίοι κλήθηκαν να επιλύσουν 2 επιπλέον έργα, διαφορετικού βαθμού δυσκολίας, παρόμοια με 2 από τα έργα της αρχικής φάσης. Μετά την επίλυση οι μαθητές έπρεπε στα πλαίσια ατομικής συνέντευξης: (α) να αναστοχαστούν επί της διαδικασίας επίλυσης μέσω κατάλληλων προτροπών και (β) να δώσουν τις εκτιμήσεις τους για τη δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για τη λύση πριν και μετά τον αναστοχασμό (βλ. Σχήμα 1):



**Σχήμα 1.** Σχεδιασμός της έρευνας

#### *Δείγμα*

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 34 μαθητές και μαθήτριες οι οποίοι επιλέχθηκαν από ένα σύνολο 92 μαθητών (34 αγόρια και 58 κορίτσια) της Στ' τάξης, 5 τμημάτων τριών διαφορετικών δημοτικών σχολείων από τη περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλης της Κοζάνης. Ο μέσος όρος ηλικίας των μαθητών κατά το χρόνο διεξαγωγής της έρευνας ήταν 11,6 χρόνων. Οι περισσότεροι μαθητές ανήκαν στο χαμηλό και μέσο κοινωνικοοικονομικό επίπεδο, σύμφωνα με την οικονομική και επαγγελματική κατάσταση των γονέων και όλοι οι μαθητές είχαν Ελληνική υπηκοότητα. Δεν εντοπίστηκε καμία περίπτωση μαθητή με μαθησιακές δυσκολίες. Ο αριθμός των μαθητών της κάθε υπο-ομάδας που συμμετείχε τελικά στο παρόν δείγμα καθορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό της κάθε υπο-ομάδας στο αρχικό δείγμα. Έτσι, από τις δυο πρώτες ομάδες, οι οποίες ήταν και οι πολυπληθέστερες, επιλέχθηκαν τυχαία 6 μαθητές από την πρώτη και 13 από την δεύτερη, οι οποίες αντιστοιχούν στο Μοντέλο Α (27 μαθητές/τριες) και στο Μοντέλο Β (50 μαθητές/τριες). Από τις δύο υπόλοιπες, δηλαδή, την τρίτη και την τέταρτη, οι οποίες αντιστοιχούν στα Μοντέλα Γ και Δ, λόγω και του μικρού αριθμού των μαθητών και μαθητριών επιλέχθηκαν να συμμετάσχουν όλοι, δηλαδή, 9 μαθητές και μαθήτριες από το μοντέλο Γ και 6 από το μοντέλο Δ. Συνολικά στην έρευνα συμμετείχαν 34 μαθητές.

#### *Έργα και μετρήσεις*

Η επιλογή των έργων έγινε έτσι ώστε να απαιτείται γνώση που έχουν διδαχθεί στην προηγούμενη τάξη, τα έργα να παρουσιάζουν διαφορά ως προς το βαθμό δυσκολίας και να μην είναι απαραίτητη η χρήση μαθηματικών σχέσεων και πράξεων:

Έργο 1<sup>ο</sup>: Σωστή συνδεσμολογία απλού ηλεκτρικού κυκλώματος – Φωτοβολία λαμπτήρα.

Ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις συνδεσμολογίας μπαταρίας με λάμπα οι μαθητές έπρεπε να προβλέψουν σε ποια κυκλώματα η λάμπα θα ανάψει, σχεδιάζοντας τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος και να αιτιολογήσουν γραπτά την απάντησή τους για μια τουλάχιστον περίπτωση.

Έργο 2<sup>ο</sup> : Φωτοβολία λαμπών σε ηλεκτρικό κύκλωμα με δυο λάμπες σε σειρά

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με δύο λάμπες συνδεδεμένες σε σειρά ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν τη φωτεινότητα των λαμπών και να αιτιολογήσουν την απάντησή τους.

Η εκτίμηση της γνωστικής επίδοσης των μαθητών έγινε για κάθε έργο ξεχωριστά σύμφωνα με μια κλίμακα αξιολόγησης από 0 έως 3, η οποία είχε υιοθετηθεί και κατά την

διαδικασία διάκρισης των νοητικών μοντέλων και στηρίχθηκε στον εντοπισμό των χαρακτηριστικών εναλλακτικών ιδεών για κάθε μοντέλο (Shipstone, 1985), τα διαφορετικά αιτιολογικά σχήματα τα οποία αναπτύσσουν βαθμιαία οι μαθητές (Andersson, 1986. Barbas & Psillos, 1997) και την οντολογική κατηγοριοποίησή τους (Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000):

0 = απαντήσεις ασαφείς, μη ολοκληρωμένες που πλησιάζουν ή ταυτίζονται με το μονοπολικό μοντέλο ερμηνείας.

1 = απαντήσεις που πλησιάζουν ή είναι σύμφωνες με το μοντέλο των αντικρουόμενων ρευμάτων.

2 = απαντήσεις οι οποίες κινούνται ανάμεσα στο προηγούμενο μοντέλο και το επιστημονικό και πλησιάζουν ή ταυτίζονται με το μοντέλο εξασθένησης ή το επιμεριστικό μοντέλο.

3 = απαντήσεις που πλησιάζουν ή είναι σύμφωνες με το επιστημονικό μοντέλο.

Τέλος, οι μεταγνωστικές εμπειρίες της δυσκολίας για το έργο και της βεβαιότητας για την παραγόμενη λύση εκτιμήθηκαν από τους μαθητές για κάθε έργο ξεχωριστά σύμφωνα με μια 4βαθμη κλίμακα τύπου Likert (1=καθόλου, 2=λίγο, 3=αρκετά, 4=πολύ).

### *Διαδικασία*

Κάθε μαθητής ατομικά κλήθηκε να συμμετάσχει σε συνέντευξη. Κάθε έργο παρουσιαζόταν στο μαθητή σε μια σελίδα και ο μαθητής έδινε την απάντησή του γραπτά και στη συνέχεια την εκτίμησή του για τη δυσκολία και τη βεβαιότητα. Στη συνέχεια, ακολουθούσε αναστοχασμός επί των διαδικασιών επίλυσης μέσω κατάλληλων προτροπών και νύξεων. Επιλέχθηκαν γενικού τύπου προτροπές, χωρίς να κατευθύνεται ο μαθητής να σκεφτεί με συγκεκριμένο τρόπο. Συγκεκριμένα, η διαδικασία αναστοχασμού ξεκινούσε με μια γενικού τύπου ερώτηση «*Εξήγησέ μου πώς έλυσες το πρόβλημα*» και στη συνέχεια, ιδιαίτερα για τους μαθητές που δυσκολεύονταν παρεμβάλλονταν διευκολυντικές νύξεις και προτροπές όπως (γιατί; πώς; ποια βήματα ακολούθησες; κ.ο.κ.). Οι μαθητές δεν παρωθούνταν προς τη σωστή λύση σε περίπτωση που είχαν κάνει λάθος.

Η όλη διαδικασία μαγνητοφωνήθηκε και καταγράφηκε σε πρωτόκολλα συνέντευξης. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έρευνα πραγματοποιήθηκε στις αρχές φθινοπώρου, με την έναρξη της σχολικής χρονιάς. Το φαινόμενο του ηλεκτρισμού είχε διδαχθεί στο τέλος της προηγούμενης σχολικής χρονιάς. Ο συγκεκριμένος χρόνος υλοποίησης της έρευνας επιλέχθηκε για να δοθεί και η δυνατότητα ελέγχου διατήρησης των επιστημονικών ερμηνειών μετά τη διδασκαλία ή παλινδρόμησης των μαθητών στις διαισθητικές τους αντιλήψεις για τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού.

### **Αποτελέσματα – Συζήτηση**

#### *Γνωστική επίδοση και μεταγνωστικές εκτιμήσεις.*

Η επίδοση των μαθητών στα δυο έργα που δόθηκαν δε διαφοροποιήθηκε σε σχέση με την επίδοσή τους στα αντίστοιχα έργα, στα οποία εξετάστηκαν κατά τη αρχική φάση της έρευνας, όπως διαπιστώθηκε από τη σύγκριση των βαθμών επίδοσης, για κάθε μαθητή ξεχωριστά, στα αντίστοιχα έργα. Όλοι οι μαθητές, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής, έδωσαν απαντήσεις τυπικές του μοντέλου που παρουσίασαν κατά την πρώτη φάση της έρευνας. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού υπήρξε βελτίωση της γνωστικής επίδοσης. Συγκεκριμένα, 4 μαθητές βελτιώνουν την επίδοσή τους στο 1<sup>ο</sup> πρόβλημα και 12 στο 2<sup>ο</sup> πρόβλημα. Βελτίωση της γνωστικής επίδοσης παρατηρήθηκε ως προς όλα τα νοητικά μοντέλα. Οι μαθητές υπό τη επίδραση του αναστοχασμού φαίνεται να αναθεωρούν τις διαισθητικές απόψεις τους και να βελτιώνουν την επίδοσή τους.

**Πίνακας 1.** Διατήρηση και αλλαγή της γνωστικής επίδοσης μετά τον αναστοχασμό

Μοντέλα	Γνωστική επίδοση			
	1 <sup>ο</sup> έργο		2 <sup>ο</sup> έργο	
	Ίδια	Βελτίωση	Ίδια	Βελτίωση
A Μονοπολικό & άλλα N=6	5	1	3	3
B Αντικρουόμενων ρευμάτων N=13	11	2	9	4
Γ Εξασθένησης & Επιμεριστικό N=9	8	1	4	5
Δ Επιστημονικό N=6	6	-	6	-
Σύνολο	30	4	22	12

Από τον προσημικό μη παραμετρικό έλεγχο (Wilcoxon) που εφαρμόστηκε για κάθε έργο ξεχωριστά, βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στην επίδοση πριν και μετά τον αναστοχασμό, οριακή για το πρώτο πρόβλημα  $Z = -2.000$ ,  $p = 0.046$  και ισχυρότερη για το δεύτερο  $Z = -3.276$ ,  $p = 0.001$ . Η βελτίωση της γνωστικής επίδοσης μπορεί να αποδοθεί στο ότι ορισμένοι μαθητές κατά την διάρκεια του αναστοχασμού αναδιοργανώνουν το ερμηνευτικό τους σχήμα και αναθεωρούν τις απόψεις τους και γενικά καθίστανται περισσότερο ενήμεροι τόσο για την πορεία της σκέψης τους όσο και για τα χαρακτηριστικά του προβλήματος. Επιπροσθέτως, το δεύτερο πρόβλημα το οποίο θεωρείται υψηλότερου βαθμού δυσκολίας είναι πιθανόν να προσφέρει περισσότερες ευκαιρίες για αναστοχασμό και βελτίωση της μεταγνωστικής ενημερότητας των μαθητών για τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος.

Ως προς την ακρίβεια των μεταγνωστικών εμπειριών σε σχέση με την επίδραση του αναστοχασμού, δύο εναλλακτικές δυνατότητες ήταν πιθανές: *α) η βελτίωση της ακρίβειας και β) η μείωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων*. Ως βελτίωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων θεωρήθηκε η συνθήκη κατά την οποία οι μαθητές αυξάνουν την εκτίμηση δυσκολίας και μειώνουν την εκτίμηση βεβαιότητας όταν δεν λύνουν το πρόβλημα σωστά, καθώς και η συνθήκη στην οποία μειώνουν τη δυσκολία και αυξάνουν τη βεβαιότητα όταν το έχουν λύσει σωστά. Αντίστροφα, ως μείωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων θεωρήθηκε η συνθήκη στην οποία μειώνουν το βαθμό δυσκολίας και αυξάνουν τη βεβαιότητα όταν κάνουν λάθος, καθώς και η συνθήκη στην οποία αυξάνουν το βαθμό δυσκολίας και μειώνουν το βαθμό βεβαιότητας όταν λύνουν το πρόβλημα σωστά (παραπομπή). Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα στοιχεία για τις μεταγνωστικές εκτιμήσεις των συμμετεχόντων μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού

**Πίνακας 2.** Διατήρηση και αλλαγή των μεταγνωστικών εκτιμήσεων μετά τον αναστοχασμό.

Μοντέλα	Μεταγνωστικές εμπειρίες											
	Δυσκολίας						Βεβαιότητας					
	1 <sup>ο</sup> έργο			2 <sup>ο</sup> έργο			1 <sup>ο</sup> έργο			2 <sup>ο</sup> έργο		
	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)
A (N=6)	4	1	1	1	5	-	3	2	1	1	-	5
B (N=13)	11	2	-	7	5	1	12	-	1	5	2	6
Γ (N=9)	5	2	2	5	3	1	6	1	2	5	1	3
Δ (N=6)	4	1	1	6	-	-	2	3	1	5	1	-
Σύνολο	24	6	4	19	13	2	23	6	5	16	4	14

(=) Ίδια εκτίμηση, (+) Αύξηση του βαθμού εκτίμησης, (-) Μείωση του βαθμού εκτίμησης

Στο 1<sup>ο</sup> πρόβλημα περίπου το 1/3 των μαθητών (10 από τους 34) φαίνεται να εμφανίζουν αλλαγή των εκτιμήσεων δυσκολίας και βεβαιότητας (βλ. Πίνακα 2). Δεν πρόκειται, όμως, μόνο για βελτίωση αλλά και για μείωση της ακρίβειας με την ίδια περίπτωση συχνότητα. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η μετακίνηση των μαθητών από τις αρχικές τους εκτιμήσεις

δεν οδηγεί στη απαραίτητα στη βελτίωση της ακρίβειάς τους αλλά μπορεί να οδηγήσει και σε μείωσή της.

Στο 2<sup>ο</sup> πρόβλημα, αν και ένας μεγάλος αριθμός μαθητών και μαθητριών διατηρεί τις ίδιες εκτιμήσεις για τη δυσκολία και τη βεβαιότητα, οι μισοί περίπου μαθητές και μαθήτριες αλλάζουν τις εκτιμήσεις τους μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού. Η αλλαγή αυτή, μάλιστα, φαίνεται να είναι προς τη θετική κατεύθυνση, καθώς οδήγησε στη βελτίωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων των μεταγνωστικών εμπειριών (αύξηση των εκτιμήσεων δυσκολίας και μείωση των εκτιμήσεων βεβαιότητας για το 2<sup>ο</sup> το πιο δύσκολο έργο). Από τον προσημικό μη παραμετρικό έλεγχο προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση για τις μεταγνωστικές εκτιμήσεις δυσκολίας και βεβαιότητας μόνο για το 2<sup>ο</sup> πρόβλημα  $Z = -2.862$ ,  $p = 0.004$  και  $Z = -2.688$ ,  $p = 0.007$ , αντίστοιχα. Φαίνεται ότι η επίδραση του αναστοχασμού είναι μεγαλύτερη για το 2<sup>ο</sup> πρόβλημα, το οποίο ήταν υψηλότερου βαθμού δυσκολίας και συνθετότητας. Προβλήματα τα οποία θεωρούνται σχετικά εύκολα και είναι αυτά που στοχεύουν μόνο στην εφαρμογή της γνώσης, φαίνεται ότι προσφέρουν πολύ λίγες ευκαιρίες για αναστοχασμό και βελτίωση της μεταγνωστικής ενημερότητας. Αντίθετα, αυτά των οποίων η δομή είναι πιο σύνθετη, πιθανόν, να είναι πιο κατάλληλα για να αποκτήσουν οι μαθητές επίγνωση των διαισθητικών τους ιδεών, να τις θέσουν σε κρίση, και να αναθεωρήσουν τις απόψεις τους και να οδηγούν σε εννοιολογική αλλαγή.

**Πίνακας 3.** Κατηγορίες μεταγνωστικών αναφορών κατά τον αναστοχασμό.

α/α	Μεταγνωστικές αναφορές	Παραδείγματα
1.	Αδυναμία γνώσης ή εντοπισμός λαθών χωρίς καμιά ερμηνεία	«γιατί τον έχω ξεχάσει τον ηλεκτρισμό, είναι από την Ε' δημοτικού και δεν θυμάμαι πολύ» « δεν μπόρεσα να το καταλάβω όσο το προηγούμενο και δεν έδωσα τόση σημασία όσα το προηγούμενο»,
2.	Ανάδυση των ιδεών των μαθητών μέσω των εξηγήσεών τους και ισχυροποίηση της γνώσης τους.	«Α, θα ξεκινάει από τη πηγή και θα πηγαίνει στη λάμπα» (μονοπολικό μοντέλο) «Από τον ένα πόλο της μπαταρίας κινείται προς τον ένα πόλο της λάμπας και από τον άλλο πόλο της μπαταρίας κινείται προς τον άλλο πόλο της λάμπας» (αντικρουόμενων ρευμάτων) «ότι στη Λ2 θα έρθει με περισσότερη δύναμη το ρεύμα απ' ότι στην...Λ1, γιατί θα είναι η πρώτη η Λ2 που θα συναντήσει το ρεύμα» (εξασθένησης) «σκέφτηκα ότι το ρεύμα για να ανάψει η λάμπα πρέπει να κάνει κύκλωμα κι έτσι όταν το καλώδιο ξεκινάει από τη μπαταρία το ρεύμα πηγαίνει στη λάμπα και μετά από τη λάμπα αφού την ανάψει θα γυρίσει πίσω στη μπαταρία» (επιστημονικό μοντέλο)
3.	Αναγνώριση λαθών με ερμηνεία ή προσπάθεια αιτιολόγησης	«άλλαξα γνώμη γιατί όταν το πρόσεξα καλύτερα είδα ότι είχε περισσότερες δυσκολίες» «με δυσκολεύει, γιατί εδώ που λέει να αιτιολογήσεις την άποψή σου, γιατί το ρεύμα θα πάει πρώτα από τη μία λάμπα, θα περάσει στην άλλη και θα γίνει ξανά ο ίδιος κύκλος και εντάξει δεν είμαι πολύ σίγουρη γι' αυτό το θέμα, γι' αυτό το πράγμα»
4.	Επανεξέταση της διαδικασίας που είχε εφαρμοστεί και ενδεχόμενη υιοθέτηση μιας νέας διαδικασίας επίλυσης	«στην αρχή εγώ σκέφτηκα πως πήγαινε έτσι,... μετά σκέφτηκα ότι το ρεύμα δεν θα μπορούσε να φύγει και έτσι μάλλον θα περνά απ' εδώ» «όχι περιμένετε...ε, ...θα πάει το ρεύμα από τη μια πλευρά θα περάσει από τις λάμπες και θα περάσει στην άλλη πλευρά και θα πάει ξανά στη μπαταρία» «παρότι εδώ σημείωσα ότι η Λ1 φωτοβολεί περισσότερο από τη Λ2 τώρα πιστεύω ότι φωτοβολούν το ίδιο»

*Μεταγνωστικού τύπου αναφορές κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού*

Από την ανάλυση των λεκτικών αναφορών των μαθητών σύμφωνα με τα πρωτοκόλλα των συνεντεύξεων διαμορφώθηκαν τέσσερις κατηγορίες μεταγνωστικών αναφορών που χρησιμοποιούν οι μαθητές κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού (βλ. Πίνακα 3). Για την εξακρίβωση της σχέσης ανάμεσα στον αριθμό των μετα-αναφορών και στη γνωστική επίδοση υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης για κάθε έργο ξεχωριστά. Στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις (Pearson-r) βρέθηκαν τόσο για το 1<sup>ο</sup> έργο  $r = .347^* p = 0.05$  όσο και για το δεύτερο έργο  $r = .453^{**} p = 0.001$ . Φαίνεται ότι ο αριθμός των μετα-αναφορών κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού έχει σημαντική σχέση με τη γνωστική βελτίωση. Μαθητές που παράγουν περισσότερες αναφορές τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερη γνωστική επίδοση, ενώ μαθητές που παράγουν λιγότερες τείνουν να παρουσιάζουν χαμηλότερη επίδοση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνολικός αριθμός των μετα-αναφορών κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού στο 2<sup>ο</sup> πρόβλημα παρουσιάζεται αυξημένος σε σχέση με το 1<sup>ο</sup> (βλ. Πίνακα 4). Η αδυναμία γνώσης αναφέρεται συχνά στο πρώτο πρόβλημα ενώ στο δεύτερο σχεδόν καθόλου. Το δεύτερο πρόβλημα συγκριτικά με το 1<sup>ο</sup> εμφανίζεται ως πιο κατάλληλο για την ανάδυση των ιδεών των μαθητών και ο εντοπισμός λάθους και η υιοθέτηση νέας διαδικασίας παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα. Γενικά, στο 2<sup>ο</sup> πρόβλημα υπάρχει μια αυξητική τάση στην παραγωγή μετα-αναφορών σε όλα τα νοητικά μοντέλα ερμηνείας εκτός του επιστημονικού μοντέλου όπου ο αριθμός τους διατηρείται στα ίδια πλαίσια.

**Πίνακας 4.** Συχνότητες εμφάνισης των μετα-αναφορών ανά έργο (1<sup>ο</sup> & 2<sup>ο</sup>) και νοητικό μοντέλο.

Μετα-αναφορές	Νοητικά μοντέλα								Σύνολο	
	Α		Β		Γ		Δ		1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>
	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>		
Αδυναμία γνώσης	4	-	5	1	5	-	2	-	16	1
Ανάδυση των ιδεών των μαθητών	3	9	8	14	9	13	11	11	31	47
Εντοπισμός λάθους	2	5	3	5	3	7	1	1	9	18
Υιοθέτηση νέας διαδικασίας	1	2	2	5	1	8	-	-	4	15
Σύνολο	10	16	18	25	18	28	14	12	60	81

Ωστόσο, η συχνότητα του μεταγνωστικού τύπου αναφορών κάθε κατηγορίας φαίνεται να διαφοροποιείται ως προς τα νοητικά μοντέλα ερμηνείας:

**Μοντέλο Α (μονοπολικό και άλλα):** Το μοντέλο αυτό, το μονοπολικό δηλαδή μαζί με άλλα κατώτερης τάξης, αποτελούν απόλυτα διαισθητικά μοντέλα. Οι περισσότερες αναφορές στο 1<sup>ο</sup> πρόβλημα αφορούν την αδυναμία γνώσης ενώ στο 2<sup>ο</sup> την ανάδυση των ιδεών των μαθητών. Ωστόσο, αν και στο 2<sup>ο</sup> πρόβλημα αρκετοί μαθητές φαίνεται να εντοπίζουν λάθη (5 στους 6), ελάχιστοι φαίνεται να υιοθετούν νέα διαδικασία κινούμενοι προς πιο βελτιωμένα και πιο σύνθετα μοντέλα ερμηνείας.

**Μοντέλο Β (αντικρουόμενα ρεύματα):** Το μοντέλο αυτό που παρουσίασε και τη μεγαλύτερη συχνότητα φαίνεται να έχει μεγάλη επεξηγηματική ισχύ και οι μαθητές δυσκολεύονται να αναθεωρήσουν τις διαισθητικές τους ιδέες και να ενσωματώσουν νέες ερμηνείες σ' αυτό. Ωστόσο, κάτω από την επίδραση του αναστοχασμού η αναθεώρηση του μοντέλου αυτού φαίνεται ότι είναι δυνατή. Ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών αντιλαμβάνεται την αδυναμία του μοντέλου να ερμηνεύσει το φαινόμενο.

**Μοντέλο Γ (εξασθένησης και επιμεριστικό):** Αποτελεί σημαντικό μεταβατικό μοντέλο το οποίο και συγκεντρώνει τις περισσότερες μετα-αναφορές ειδικά στο δεύτερο πρόβλημα και στο οποίο παρατηρείται και η μεγαλύτερη εννοιολογική αλλαγή.

**Μοντέλο Δ (επιστημονικό):** Οι μαθητές στο μοντέλο αυτό παρουσιάζονται σίγουροι για τη γνώση τους και κάνουν, συνήθως, σαφή αναφορά στα χαρακτηριστικά του μοντέλου.

## Συμπεράσματα – Προτάσεις

Γενικά, τα αποτελέσματα της έρευνας βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών (Bell & Linn, 2000. Davis, 2003. Hollingworth & McLoughlin, 2001. Linn, 1995. White & Frederiksen, 1998), οι οποίες έδειξαν ότι η διαδικασία του αναστοχασμού επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη των μεταγνωστικών δεξιοτήτων και της γνωστικής επίδοσης.

Ειδικότερα:

1. Αρκετοί μαθητές του συγκεκριμένου δείγματος, μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού, δίνουν περισσότερο ακριβείς μεταγνωστικές εκτιμήσεις σε σχέση με την γνωστική τους επίδοση και παρουσιάζονται περισσότερο μεταγνωστικά ενήμεροι της γνώσης που διαθέτουν και της διαδικασίας επίλυσης του προβλήματος.
2. Κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού, αρκετοί μαθητές γίνονται ενήμεροι των δεδομένων και των απαιτήσεων του προβλήματος, του μοντέλου ερμηνείας τους και αναπτύσσουν μεταγνωστικές δεξιότητες παρακολούθησης, ελέγχου και αξιολόγησης της διαδικασίας επίλυσης του προβλήματος.
3. Η επίδραση του αναστοχασμού φαίνεται να διαφοροποιείται στους μαθητές με διαφορετικό μοντέλο ερμηνείας και να βελτιώνεται ή να περιορίζεται από την ύπαρξη ή όχι προηγούμενης γνώσης, την ερμηνευτική ισχύ των διαισθητικών ιδεών και τη φύση των προβλημάτων.
4. Η καταλληλότητα των έργων που χρησιμοποιούνται επισημαίνεται και αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων εποικοδομητικού χαρακτήρα.
5. Τέλος, μπορούμε να επισημάνουμε ότι η ανάπτυξη διαμεσολαβητικών μηχανισμών βελτίωσης της μεταγνωστικής ενημερότητας κατά την διαδικασία επίλυσης προβλημάτων, φαίνεται να είναι σημαντική δια τη μάθηση και διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες.

## Παραπομπές

- Σούλιος, Ι., Γωνίδα, Ε., Ψύλλος, Δ. (2004). Μεταγνωστικές εμπειρίες κατά την επίλυση προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Στο: Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου, Μ. Πατσαδάκης (επιμ.) Φυσικές Επιστήμες: Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση (σελ. 169-175), Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου, Αθήνα, 26-28 Νοεμβρίου 2004.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' reconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8 (2), 155-171.
- Barbas, A. & Psillos, D. (1997). Causal reasoning as a base for advancing a systemic approach to simple electrical circuits. *Research in Science Education*, 27 (3), 445-459.
- Bell, P., & Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22 (8), 797-817.
- Chi, M.T.H. (2000). Self-explaining expository tests: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In Glaser, R. (Ed.). *Advances in Instructional Psychology* (pp. 161-238). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive science*, 13, 145-182.
- Craig, M. T., & Yore, L. D. (1995). Middle school students' metacognitive knowledge about science reading and science text: An interview study. *Reading Psychology*, 16 (2), 169-213.



- Davis, E., (2003). Promoting Middle School Science Students for productive reflection: Generic and Directed Prompts. *Journal of the Learning Sciences*, 12 (1), 91-141.
- Gonida, E., Kiosseoglou, G., & Psillos, D. (2003). Metacognitive experiences in the domain of physics: Developmental and educational aspects. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science Education Research in Knowledge-based Society* (pp.107-115). Dordrecht: Kluwer.
- Hollingworth & McLoughlin (2001). Developing science student's metacognitive problem solving skills on line. *Australian Journal of Educational Technology*, 17 (1), 50-63.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence: an essay on the construction of formal operational structures*. New York: Basics Books.
- Linn, M. C. (1995). Designing computer learning environments for engineering and computer science: The scaffolded knowledge integration framework. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 103–126.
- Reiner, M., Slotta, J.D., Chi, M.T.H., & Resnick, L.B. (2000). Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18 (1), 1-34.
- Shipstone, D., (1985). Electricity in simple circuits. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas of science* (pp. 33-51). Open University Press
- White, B., & Frederiksen, J. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16 (1), 3-118.