Συνεδρία 3: Διδασκαλία και μάθηση στη Χημεία

Διερεύνηση των ευρετικών συλλογισμών και της διαφοροποίησής τους κατά την επίλυση προβλημάτων στοιχειομετρίας από μαθητές, φοιτητές και εκπαιδευτικούς

Μαρία Βλαχολιά, Κατερίνα Σάλτα, Χρύσα Τζουγκράκη
Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, mpvlacholia@chem.uoa.gr
2ο Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο Αθηνών, ksalta@chem.uoa.gr
Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, tzougraki@chem.uoa.gr

Περίληψη

Σε αυτή την έρευνα γίνεται διερεύνηση των ευρετικών συλλογισμών και της διαφοροποίησής τους κατά την επίλυση προβλημάτων στοιχειομετρίας από μαθητές, πρωτοετείς και επί πτυχίω φοιτητές Χημείας καθώς και από εκπαιδευτικούς Χημικούς, με τη χρήση της μεθόδου των πρωτοκόλλων αναδρομικής διατύπωσης της σκέψης. Από την ανάλυση των πρωτοκόλλων ανιχνεύτηκαν συλλογισμοί που αναφέρονται στην εξέταση και την ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών και συλλογισμοί που αναφέρονται στη μείωση της δυσκολίας η οποία συνδέεται με την ανάκληση και τη συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών. Από τους τελευταίους ανιχνεύτηκαν οι συλλογισμοί της διαθεσιμότητας, της αναγνώρισης, της χρήσης κανόνων και μαθηματικών τύπων, της συγχώνευσης δεδομένων και της απλής σύγκρισης. Οι φοιτητές δεν διαφοροποιούνται μεταξύ τους και ακολουθούν ευρετικούς συλλογισμούς κατά την επίλυση των προβλημάτων. Οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν λιγότερο τέτοιους συλλογισμούς, αλλά διαφοροποιούνται μεταξύ τους καθώς οι μαθητές ακολουθούν και ευρετικούς συλλογισμούς που τους οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Abstract

The aim of this research was to investigate the heuristics as well as their differentiation applied by school students, first-year university chemistry students, graduate chemistry students and chemistry teachers, when solving stoichiometry problems. For this purpose the retrospective think aloud protocol method was applied. Protocol analysis showed that solvers followed heuristics of examining fewer cues and integrating less information and heuristics that refer to effort-reduction, associated with retrieving and storing cue values. In this last category, the heuristics of availability, of recognition, of using rules and mathematic formulas, of data fusion and the weighted pros heuristic were found. There is not any differentiation between university students, since both groups follow heuristics during problem solving. On the contrary, school students and teachers do not use heuristics so often, although sometimes school students follow heuristics that lead to wrong solutions.

Εισαγωγή

Ο συλλογισμός, γενικά, αφορά στις διαδικασίες συναγωγής συμπερασμάτων ή κρίσεων, στις οποίες εμπλέκονται δύο συστήματα σκέψης. Αυτά είναι το αναλυτικό και το ευρετικό τα οποία αλληλεπιδρούν με έναν πολύπλοκο τρόπο και συχνά ανταγωνίζονται στον έλεγχο της συμπεριφοράς. Οι διαδικασίες συναγωγής συμπερασμάτων ή κρίσεων στην περίπτωση του αναλυτικού συλλογισμού είναι ενσυνείδητες, έκδηλες (explicit), ελεγχόμενες, αργές και κοπιώδεις, ενώ στην περίπτωση του ευρετικού συλλογισμού οι διαδικασίες αυτές είναι ασυνείδητες, άδηλες (implicit), αυτόματες, γρήγορες και αβίαστες (Maeyer & Talanquer 2010). Για να κατανοήσουμε πώς λειτουργούν και πώς αλληλεπιδρούν αυτά τα δύο συστήματα, μπορούμε να στηριχθούμε στην επεκτεταμένη και αναθεωρημένη ευρετική - αναλυτική ή άδηλη - έκδηλη θεωρία του Evans (2006). Σύμφωνα με αυτή οι άνθρωποι οικοδομούν μόνο ένα μοντέλο κάθε φορά με το οποίο αναπαριστούν μία κατάσταση. Το μοντέλο αυτό δημιουργείται μέσα από ευρετικές διαδικασίες που συνδέουν την πρότερη γνώση με τις πληροφορίες που δίνονται και

τους επιδιωκόμενους στόχους. Από εκεί είναι δυνατό κάποιος να καταλήξει σε συμπεράσματα και κρίσεις, που μπορεί να είναι λανθασμένα, αφού οι ευρετικές διαδικασίες συχνά δημιουργούν εσφαλμένα νοητικά μοντέλα. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα μπορεί να αντικατασταθούν. Με την προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμος χρόνος, γνωστική ικανότητα και οι κατάλληλες οδηγίες, μπορεί να μεσολαβήσει το αναλυτικό σύστημα. Πρόκειται για την αναλυτική ή έκδηλη διαδικασία, η οποία και αυτή δεν είναι απαλλαγμένη από σφάλματα. Είναι, όμως, εφοδιασμένη με ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο αν κρίνει ότι το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό με αναφορά στους τρέχοντες στόχους, τότε αυτό γίνεται αποδεκτό. Στην περίπτωση που το μοντέλο δεν θεωρηθεί ικανοποιητικό τότε η διαδικασία αξιολογείται ώστε να προκύψει με τον ίδιο τρόπο άλλο μοντέλο που να ικανοποιεί τους στόχους.

Οι Shah και Oppenheimer (2008), προκειμένου να καθορίσουν τη φύση των ευρετικών συλλογισμών, πρότειναν μια σειρά εργασιών οι οποίες πρέπει να γίνουν προκειμένου να συναχθεί ένα συμπέρασμα, να εκφερθεί μια κρίση ή να ληφθεί μία απόφαση. Οι εργασίες αυτές είναι:

η αναγνώριση όλων των σχετικών πληροφοριών (cues),
η ανάκληση και συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών,
η αξιολόγηση της βαρύτητας κάθε πληροφορίας,
η ενσωμάτωση των πληροφοριών για όλες τις εναλλακτικές λύσεις
και επιπλέον, για την περίπτωση της λήψης μιας απόφασης,
η σύγκριση όλων των εναλλακτικών λύσεων.

Όμως, αυτές οι εργασίες απαιτούν την καταβολή προσπάθειας, την ύπαρξη γνωστικής ικανότητας, τη διαθεσιμότητα χρόνου και τη χρήση οδηγιών. Προκειμένου να μειωθεί η προσπάθεια επίτευξης των στόχων λαμβάνει χώρα ο ευρετικός συλλογισμός, ο οποίος παραβιάζει μία ή περισσότερες από τις εργασίες αυτές.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Taber 2009, Maeyer & Talanquer 2010, McClary & Talanquer 2010) δεν συναντήθηκε κάποια έρευνα που να μελετά τους ευρετικούς συλλογισμούς κατά την επίλυση προβλημάτων στοιχειομετρίας. Επιπλέον, από τις έρευνες που διερευνούν ευρετικούς συλλογισμούς δεν βρέθηκε κάποια που να μελετά τη διαφοροποίηση στο συλλογισμό των αρχάριων και των έμπειρων λυτών.

Συνεπώς, τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην παρούσα έρευνα σχετικά με τη λύση προβλημάτων στοιχειομετρίας είναι τα εξής:

Ποιοι είναι οι ευρετικοί συλλογισμοί τους οποίους χρησιμοποιούν οι μαθητές, οι φοιτητές και οι εκπαιδευτικοί;

Πώς διαφοροποιούνται οι μαθητές, οι φοιτητές και οι εκπαιδευτικοί ως προς τους ευρετικούς συλλογισμούς που χρησιμοποιούν;

Μεθοδολογία της έρευνας

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η αναδρομική διατύπωση της σκέψης κατά την οποία ο λύτης καλείται, αφού λύσει τα προβλήματα, να ανακαλέσει τη διαδικασία της σκέψης του (van den Haaka, De Jonga & Schellensa 2003, Chandrasegaran *et al*. 2009, Ercikan, Arim & Law 2010).

Αρχικά, εξασφαλίστηκε ένα άνετο περιβάλλον και έγινε ενημέρωση κάθε λύτη σχετικά με το σκοπό της έρευνας, την καταγραφή της διατύπωσης της σκέψης του και την προστασία των δεδομένων. Ακολούθησε εξάσκηση στη διατύπωση της σκέψης, ανάκληση και ανατροφοδότηση, όπου χρειαζόταν, των γνώσεων γύρω από τη στοιχειομετρία και το θεωρητικό υπόβαθρο των προβλημάτων. Το τελευταίο στάδιο περιελάμβανε ανάγνωση του κάθε προβλήματος, επίλυση από το λύτη και διατύπωση της σκέψης του (Van Someren, Barnard, Sandberg 1994).

Στην πιλοτική διαδικασία, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το πρωτόκολλο διατύπωσης της σκέψης, συμμετείχαν τρεις λύτες. Στην κυρίως έρευνα και ξεκινώντας από τους αρχάριους λύτες, συμμετείχαν 5 μαθητές της Β΄ τάξης του Γενικού Λυκείου που είχαν επιλέξει τη Θετική

Κατεύθυνση. Την επόμενη ομάδα λυτών, που είχε κάποια εμπειρία στην επίλυση προβλήματος, αποτέλεσαν 5 πρωτοετείς φοιτητές Χημείας που προέρχονταν από Γενικά Λύκεια όπου ένα χρόνο πριν είχαν επιλέξει τη Θετική Κατεύθυνση σπουδών. Ακολούθησαν ως ακόμα πιο έμπειροι 5 επί πτυχίω φοιτητές Χημείας που βρίσκονταν στο 7ο και 8ο έτος σπουδών τους. Τέλος, οι πλέον έμπειροι λύτες ήταν 5 εκπαιδευτικοί χημικοί, οι οποίοι κατά τη διάρκεια της έρευνας δίδασκαν το μάθημα της Χημείας Γενικής Παιδείας στη Β΄ τάξη Γενικών Λυκείων.

Το πρωτόκολλο διατύπωσης της σκέψης περιελάμβανε δύο προβλήματα εξάσκησης και ερωτήσεις που στόχο είχαν τη διερεύνηση του γνωστικού υπόβαθρου του λύτη σχετικά με τη στοιχειομετρία, τις αντιδράσεις προσθήκης και καύσης και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι γνώσεις αυτές ήταν απαραίτητη προϋπόθεση για την επίλυση των τεσσάρων προβλημάτων της έρευνας, τα οποία οι λύτες κλήθηκαν να επιλύσουν και στη συνέχεια να διατυπώσουν τη σκέψη τους. Αυτά τα τέσσερα προβλήματα στοιχειομετρίας αναφέρονταν στο δεύτερο κεφαλαίο «Πετρέλαιο – Υδρογονάνθρακες» του σχολικού βιβλίου Χημείας γενικής παιδείας της Β΄ τάξης του Γενικού Λυκείου.

Κάθε ένα από τα τέσσερα προβλήματα αναλύθηκε βάσει της σειράς εργασιών που πρότειναν οι Shah & Oppenheimer. Στη συνέχεια τα απομαγνητοφωνημένα κείμενα διατύπωσης της σκέψης κωδικοποιήθηκαν ώστε να ανιχνευτούν τα σημεία όπου οι εργασίες αυτές παραβιάστηκαν.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Από την ανάλυση του γνωστικού μέρους των πρωτοκόλλων προέκυψε ότι οι δύο ομάδες των φοιτητών παρουσίασαν ανεπάρκεια στο γνωστικό υπόβαθρο των προβλημάτων της έρευνας και για το λόγο αυτό χρειάστηκε να τους γίνει ανατροφοδότηση, ενώ τόσο οι εκπαιδευτικοί όσο και οι μαθητές απάντησαν επαρκώς στις σχετικές ερωτήσεις.

Κατά την ανάλυση των πρωτοκόλλων διατύπωσης της σκέψης ανιχνεύτηκαν συλλογισμοί που αναφέρονται στην εξέταση και την ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών (Ι) και συλλογισμοί που αναφέρονται στη μείωση της δυσκολίας η οποία συνδέεται με την ανάκληση και τη συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών (ΙΙ). Στους τελευταίους εντάσσονται οι συλλογισμοί της διαθεσιμότητας, της αναγνώρισης, της χρήση κανόνων και μαθηματικών τύπων, της συγχώνευσης δεδομένων και της απλής σύγκρισης. Ακολουθούν ενδεικτικά παραδείγματα για κάθε έναν από τους παραπάνω συλλογισμούς.

Ι. Συλλογισμοί που αναφέρονται στην εξέταση και την ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών

Οι ευρετικοί συλλογισμοί που αναφέρεται στην εξέταση και την ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών ακολουθούνται κυρίως από τους πρωτοετείς και επί πτυχίω φοιτητές. Συγκεκριμένα, κατά την επίλυση του προβλήματος «Να υπολογιστεί ο όγκος του ατμοσφαιρικού αέρα που απαιτείται για την καύση 84g προπενίου» τρεις πρωτοετείς και τέσσερις επί πτυχίω φοιτητές σταματούν τη λύση του προβλήματος στον υπολογισμό του όγκου του οξυγόνου διευκολύνοντας έτσι την επεξεργασία των δεδομένων. Δεν λαμβάνουν, δηλαδή, υπόψη τους ότι το ζητούμενο αναφέρεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Για παράδειγμα ο πρωτοετής φοιτητής 2 αναφέρει: «*… το 1 mole προπενίου αντιδρά με 9/2 mole οξυγόνου, άρα τα 2 που έχουμε αντιδρούν με x. Άρα το x είναι 9 mole οξυγόνου και σύμφωνα με τον τύπο n=V/Vm αφού είναι σε πρότυπες συνθήκες βρήκα τον όγκο του οξυγόνου, που είναι 201,6L.*», ενώ αντίθετα ο εκπαιδευτικός 1 υποστηρίζει: «*… απαιτούνται 9 mol οξυγόνου… βρίσκω ότι ο όγκος του οξυγόνου αυτού σε STP συνθήκες είναι 201,6 λίτρα. Από την περιεκτικότητα του αέρα, 20% σε οξυγόνο… τα 201,6 L οξυγόνου περιέχονται σε 1008 L αέρα …*».

Επίσης, στο ίδιο πρόβλημα δύο επί πτυχίω φοιτητές παρακάμπτουν την πληροφορία που αναφέρεται στα 84g προπενίου, μειώνοντας έτσι τη δυσκολία επεξεργασίας των πληροφοριών. Αφού καταστρώσουν και ισοσταθμίσουν τη χημική εξίσωση της αντίδρασης καύσης θεωρούν ότι διαθέτουν 1 mol προπενίου και συνεχίζουν τους υπολογισμούς με την ποσότητα αυτή. Ακόμα και μετά την παρέμβαση της ερευνήτριας δεν ενσωματώνουν την πληροφορία αυτή στη λύση του προβλήματος.

Για παράδειγμα, παρατίθεται ο παρακάτω διάλογος της ερευνήτριας (Ε) με τον επί πτυχίω φοιτητή 1 (Φ1).

Φ1: «*… δηλαδή 1mole προπενίου αντιδρά με 9/2 mole οξυγόνου… λύνουμε ως προς τον όγκο, το n είπαμε πριν 9/2… άρα 9/2×22,4…100,8L…αυτά*».

Ε: «*…και αυτό το 84g προπενίου που σου δίνεται;*»

Φ1: «*...εεε πιθανότατα για να το δίνει ίσως να χρειάζεται κάπου. Εμένα, όμως δεν πάει το μυαλό μου κάπου. Δεν ξέρω…*»

Αντίθετα, ο μαθητής 1 αναφέρει: «*…1 mole προπενίου αντιδρά με 9/2 mole οξυγόνου… έχουμε 2 mole προπενίου, θα αντιδράσουν με 9 mole οξυγόνου...*»

ΙΙ. Συλλογισμοί που αναφέρονται στη μείωση της δυσκολίας η οποία συνδέεται με την ανάκληση και τη συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών

Διαθεσιμότητα

Ένας ευρετικός συλλογισμός που αναφέρεται στη μείωση της δυσκολίας η οποία συνδέεται με την ανάκληση και τη συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών είναι ο συλλογισμός της διαθεσιμότητας (availability), ο οποίος έχει αναφερθεί από τους Tversky και Kahneman (Shah & Oppenheimer 2008). Στο συλλογισμό αυτόν κάποιος χρησιμοποιεί την ευκολία με την οποία φαντάζεται ένα γεγονός για να προβλέψει πόσο πιθανό είναι να συμβεί το γεγονός αυτό.

Κατά την επίλυση του προβλήματος «Σε μία φιάλη που περιέχει 36g νερό διαβιβάζονται 84g προπενίου. Ποιες θα είναι οι μάζες των χημικών ουσιών που θα περιέχονται στη φιάλη μετά το τέλος της αντίδρασης;» το σύνολο των μαθητών, των φοιτητών καθώς και δύο εκπαιδευτικοί ακολουθούν το συλλογισμό αυτό. Συγκεκριμένα, η πληροφορία που δίνεται στους λύτες και αφορά στην πραγματοποίηση αντίδρασης μέσα στη φιάλη απαιτεί από αυτούς την αναζήτηση των συνθηκών της αντίδρασης, ώστε να κρίνουν το είδος της αντίδρασης που πραγματοποιείται. Οι λύτες για να αποφύγουν τη διαδικασία αυτή προτιμούν να υποθέσουν ως πραγματοποιούμενη αντίδραση την πιο προβλέψιμη, την αντίδραση προσθήκης του νερού στο προπένιο.

Για παράδειγμα ο μαθητής 4 αναφέρει: «*…έχουμε περίπτωση μίας προσθήκης νερού σε προπένιο για να δημιουργηθεί η αλκοόλη…*», ενώ αντίθετα ο εκπαιδευτικός 5 κατά την επίλυση του προβλήματος θέτει το ερώτημα: «*…υποτίθεται ότι οι συνθήκες είναι έτσι ώστε να γίνεται η αντίδραση προσθήκης;*»

Αναγνώριση

Άλλος ένας συλλογισμός της ίδιας κατηγορίας είναι ο συλλογισμός της αναγνώρισης (recognition), που αποτελεί υποκατηγορία του ευρετικού συλλογισμού της διαθεσιμότητας και έχει αναφερθεί από τους Gigerenzer και Goldstein (Shah & Oppenheimer 2008). Στο συλλογισμό αυτόν κάποιος αναγνωρίζει στα αντικείμενα την ιδιότητα με την οποία τα συναντάει στην καθημερινή ζωή, μειώνοντας τα περιθώρια αναγνώρισης άλλης ιδιότητας του αντικειμένου αυτού.

Στο πρόβλημα της προσθήκης που αναφέρθηκε, ο συλλογισμός αυτός είναι υπεύθυνος για το γεγονός ότι ένας μαθητής και δύο επί πτυχίω φοιτητές θεωρούν το νερό ως διαλύτη και όχι ως αντιδραστήριο. Λόγω του γεγονότος ότι το νερό είναι παγκόσμιος διαλύτης και αυτή η χρήση του είναι εκτεταμένη στην καθημερινή ζωή, οι λύτες το αναγνωρίζουν με αυτή του την ιδιότητα και δεν μπαίνουν στη διαδικασία να σκεφτούν ότι μπορεί να αντιδρά με το προπένιο.

Συγκεκριμένα ο επί πτυχίω φοιτητής 1 αναφέρει: «*…Μου έρχεται στο μυαλό ότι όταν προσθέτουμε νερό γίνεται αραίωση…*», ενώ αντίθετα ο μαθητής 2 σωστά υποστηρίζει: «*…εεε είναι αντίδραση προσθήκης νερού…*».

Παραπάνω έγινε αναφορά στον ευρετικό συλλογισμό που οδηγεί τους περισσότερους φοιτητές να αγνοήσουν τον ατμοσφαιρικό αέρα του οποίου ζητείται ο όγκος και να αρκεστούν στον υπολογισμό του όγκου του οξυγόνου. Αυτή η ενέργεια των λυτών συνδέεται και με το συλλογισμό της αναγνώρισης. Τρεις πρωτοετείς και τέσσερις επί πτυχίω φοιτητές

αναγνωρίζουν το οξυγόνο ως την ουσία που είναι υπεύθυνη για την καύση παραμερίζοντας τα υπόλοιπα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα. Έτσι, την πληροφορία «ατμοσφαιρικός αέρας» την ταυτίζουν με την πληροφορία «οξυγόνο».

Για παράδειγμα, ο πρωτοετής φοιτητής 3 αναφέρει: «*...Καταρχήν συμπλήρωσα την αντίδραση ότι είναι τέλεια καύση* (συμπληρώνει την αντίδραση του προπενίου με οξυγόνο)*... άρα εφόσον ψάχνουμε τώρα τον ατμοσφαιρικό αέρα που απαιτείται για την καύση του προπενίου ... άρα προκύπτει ότι ο όγκος είναι 9×22,4 λίτρα ατμοσφαιρικού αέρα.*»

Χρήση κανόνων

Στο συλλογισμό αυτόν κάποιος προκειμένου να μειώσει τη δυσκολία που συνδέεται με την ανάκληση της αξίας των πληροφοριών χρησιμοποιεί σχετικούς κανόνες. Στο πρόβλημα της προσθήκης του νερού στο προπένιο, η εξεύρεση του κύριου προϊόντος προσθήκης προκύπτει, βάσει του μηχανισμού της αντίδρασης, από το σταθερότερο ενδιάμεσο καρβοκατιόν, το δευτεροταγές στη συγκεκριμένη περίπτωση. Όλοι οι μαθητές, οι πρωτοετείς φοιτητές και οι εκπαιδευτικοί προκειμένου να μειώσουν τη δυσκολία που συνδέεται με την ανάκληση της αξίας των πληροφοριών βρίσκουν το κύριο προϊόν εφαρμόζοντας τον κανόνα του Markovnikov.

Για παράδειγμα ο εκπαιδευτικός 4 αναφέρει: «*εεε... θεωρώντας ότι παράγεται μόνο... το κύριο κατά Markovnikov προϊόν... στο τέλος της αντίδρασης... η οποία είναι προπένιο και νερό δίνει 2-προπανόλη...*».

Ο κανόνας αυτός δίνει μηχανικά το κύριο προϊόν, οπότε και μειώνει την προσπάθεια του λύτη, ο οποίος δεν χρειάζεται να ανατρέξει στην ανάκληση του μηχανισμού και στη σταθερότητα των ενδιάμεσων καρβοκατιόντων. Οι επί πτυχίω φοιτητές ανήκουν στους λύτες που δεν μπορούν να ανακαλέσουν τον κανόνα του Markovnikov. Δεν μπορούν, όμως, να ανακαλέσουν και το μηχανισμό των αντιδράσεων της ηλεκτρονιόφιλης προσθήκης των αλκενίων, με εξαίρεση τον επί πτυχίω φοιτητή 5 ο οποίος καταλήγει στο κύριο προϊόν προσθήκης βασιζόμενος στο μηχανισμό της αντίδρασης και στη σταθερότητα του δευτεροταγούς καρβοκατιόντος, «*... εεε βάλαμε προπένιο και νερό, έγινε αντίδραση προσθήκης, το τελικό προϊόν είναι η αλκοόλη..γιατί η δευτεροταγής είναι πιο σταθερή... το αντίστοιχο καρβοκατιόν είναι πιο σταθερό.*»

Χρήση μαθηματικών τύπων

Παρόμοιος ευρετικός συλλογισμός με τη χρήση κανόνων είναι και ο συλλογισμός κατά τον οποίο χρησιμοποιούνται από τους λύτες μαθηματικοί τύποι. Από την ανάλυση των πρωτοκόλλων προκύπτει ότι οι λύτες κατά την επίλυση του προβλήματος «Να υπολογιστεί η μάζα του άνθρακα που περιέχεται σε 144g πεντανίου C_5H_{12}. Δίνονται Ar,H=1 και Ar,C=12» διευκολύνονται να υπολογίζουν τον αριθμό των mol του πεντανίου, n, μέσω της εφαρμογής του τύπου n=m/Mr, όπου m είναι η μάζα του πεντανίου και Mr η σχετική του μοριακή μάζα. Προτιμούν, δηλαδή, να εφαρμόζουν τον τύπο αυτό και όχι να βρίσκουν την αναλογία μεταξύ του αριθμού των mol και της μάζας του πεντανίου, που προκύπτει από την πρόταση «1 mol μορίων πεντανίου ζυγίζει Mr g». Κάποιοι από τους λύτες, και συγκεκριμένα οι φοιτητές, χρησιμοποιούν τον τύπο αυτό χωρίς να αντιλαμβάνονται τη σημασία του. Δηλαδή, οι λύτες αυτοί δεν ανακτούν την αξία της πληροφορίας που περιέχει μέσα του ο μαθηματικός τύπος, αλλά τον χρησιμοποιούν μηχανικά. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα από την ανάλυση του γνωστικού μέρους των πρωτοκόλλων, από όπου προκύπτει ότι κυρίως οι φοιτητές είναι αυτοί που, ενώ χρησιμοποιούν τον τύπο n=m/Mr, δεν μπορούν να ανακαλέσουν πόσο ζυγίζει το 1 mol ατόμων ενός στοιχείου. Αντίθετα, οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν τους αντίστοιχους μαθηματικούς τύπους και επιπλέον αντιλαμβάνονται τη σημασία τους, όπως προκύπτει από την ανάλυση του γνωστικού μέρους των πρωτοκόλλων.

Για παράδειγμα, ο επί πτυχίω φοιτητής 1 αναφέρει: «*... Αρχικά κοιτάω στην εκφώνηση τι μου δίνει εεε και αναλόγως κοιτάω τι μπορώ να χρησιμοποιήσω, τι τύπους μπορώ να χρησιμοποιήσω. Εεε, βρίσκω πρώτα το μοριακό βάρος του πεντανίου ... μου κάνει 72. Βρίσκω μετά από τον τύπο των mole n=μάζα προς μοριακό βάρος, μπορώ να βρω τα mole του πεντανίου. Και μου δίνει ότι η*

μάζα του πεντανίου είναι 144g… άρα 2 mole πεντανίου». Στην ερώτηση του γνωστικού μέρους «Πόσα γραμμάρια ζυγίζει ένα mol ατόμων;» ο ίδιος φοιτητής απαντά «*… Ένα mole ατόμων… ζυγίζει δεν το θυμάμαι…*», ενώ μετά από ανατροφοδότηση απαντά στην ερώτηση: «Πόσα γραμμάρια ζυγίζει ένα mol μορίων;» αναλογικά: «*… ζυγίζει το μοριακό βάρος…* »

Αντίθετα, ο μαθητής 3 αναφέρει: «*…Λοιπόν, μας ζητάνε τη μάζα του άνθρακα … που περιέχονται σε 144g πεντανίου. Βρίσκουμε πρώτα το Mr του πεντανίου … προκύπτει 72. Εεε μετά υπολογίζω τα mole του πεντανίου που είναι, πόσα mole είναι τα 144g. Από τον τύπο n=m/Mr, όποτε 144g/72g/mol, 2 mol πεντανίου…* », ενώ στην αντίστοιχη ερώτηση του γνωστικού μέρους: «Πόσα γραμμάρια ζυγίζει ένα mol μορίων;» ο μαθητής αναφέρει: «*…1 mol μορίων … ζυγίζει Mr γραμμάρια…* ».

Συγχώνευση δεδομένων

Ένας άλλος συλλογισμός, που μειώνει τη δυσκολία που συνδέεται με την ανάκληση της αξίας των πληροφοριών, ακολουθείται όταν κάποιος συγχωνεύει τις πληροφορίες που του δίνονται χωρίς να τις αποκωδικοποιεί και να τις συνδυάζει.

Για παράδειγμα, ο πρωτοετής φοιτητής 1 αναφέρει: «*…Στα 144g C_5H_{12} περιέχονται 5 άτομα άνθρακα…* ». Η έκφραση «144g C_5H_{12}» περιέχει δύο πληροφορίες. Η μία αφορά στην ποσότητα του πεντανίου και η άλλη την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του μορίου του πεντανίου. Ο πρωτοετής φοιτητής 1 προκειμένου να ελαττώσει την προσπάθεια που πρέπει να καταβάλλει ώστε να ερμηνεύσει τις πληροφορίες αυτές εκλαμβάνει λανθασμένα τη συμβολική αναπαράσταση. Αυτό το είδος του συλλογισμού υπάρχει στους φοιτητές, πρωτοετείς και επί πτυχίω, ίσως εξαιτίας των ελλείψεων που παρουσιάζουν στο γνωστικό υπόβαθρο των στοιχειομετρικών υπολογισμών.

Αντίθετα, οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν τις πληροφορίες των εκφράσεων αυτών. Για τη συγκεκριμένη έκφραση ο μαθητής 4 αναφέρει: «*…υπολογίζω τα mole του πεντανίου που είναι, πόσα mole είναι τα 144g. Από τον τύπο n=m/Mr, όποτε 144g/72g/mol, 2 mol πεντανίου. Στο 1 μόριο πεντανίου περιέχονται εεε περιέχονται 5 άνθρακες οπότε 5×Mr 60g άνθρακα, στα 2 mole θα περιέχονται 120g άνθρακα.*».

Απλή σύγκριση

Κατά το συλλογισμό της απλής σύγκρισης (weighted pros heuristic), που έχει αναφερθεί από τον Huber το 1979 (Shah, Oppenheimer 2008), όταν συγκρίνονται δύο ουσίες Α και Β δίνεται μεγαλύτερη τιμή σε μία ιδιότητα της ουσίας Α επειδή μία δεύτερη ιδιότητα της ουσίας αυτής έχει μεγαλύτερη τιμή από την αντίστοιχη ιδιότητα της ουσίας Β. Έτσι, στο υποερώτημα ενός άλλου προβλήματος της παρούσας έρευνας : «…Να συγκρίνετε το μεθάνιο και το βουτάνιο ως καύσιμα… Δίνονται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ) για το μεθάνιο 802,34kJ/mol και για το βουτάνιο 2659,30 kJ/mol…», οι μαθητές και οι φοιτητές είναι εκείνοι που προβαίνουν στη διαδικασία της απλής σύγκρισης, δηλώνοντας ότι μεγαλύτερη ΚΘΔ συνεπάγεται μεγαλύτερη θερμαντική ικανότητα. Δεν μπαίνουν, δηλαδή, στη διαδικασία του υπολογισμού της θερμότητας ανά μονάδα μάζας του καυσίμου.

Για παράδειγμα ο μαθητής 2 αναφέρει: «*… το βουτάνιο όταν καίγεται στις ίδιες συνθήκες με το μεθάνιο ελευθερώνει περίπου τριπλάσιο ποσό ενέργειας, ποσό θερμότητας, από το μεθάνιο. Άρα σαν καύσιμο … είναι πιο αποδοτικό…* », ενώ αντίθετα ο εκπαιδευτικός 3 υποστηρίζει «*… ανά mole είναι προφανές ότι δίνει, προφανές ότι θα δίνει περισσότερη ενέργεια, θερμότητα όταν καεί 1 mole βουτανίου από το αν καεί 1 mole μεθανίου. Έχει πολύ περισσότερους δεσμούς. Αλλά επειδή πουλιούνται ανά γραμμάριο, ανά κιλό, εξαρτάται, μετά πρέπει να κάνεις διαίρεση…* »

Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των πρωτοκόλλων προέκυψε ότι οι λύτες κατά την επίλυση των προβλημάτων της παρούσας έρευνας ακολουθούν δύο τρόπους μείωσης της προσπάθειας εξαγωγής συμπεράσματος ή λήψης απόφασης. Ο πρώτος τρόπος αφορά στην εξέταση και

συνεπώς στην ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών και ο δεύτερος στην ελλιπή ανάκληση και συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών.

Σχετικά με τους ευρετικούς συλλογισμούς που αναφέρονται στην εξέταση και στην ενσωμάτωση λιγότερων πληροφοριών αυτοί ακολουθούνται μόνο από τις δύο ομάδες των φοιτητών, ενώ αντίθετα τόσο οι μαθητές όσο και οι εκπαιδευτικοί εξετάζουν και ενσωματώνουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για την επίλυση των προβλημάτων.

Αναφορικά με τους ευρετικούς συλλογισμούς που αναφέρονται στη μείωση της δυσκολίας η οποία συνδέεται με την ανάκληση και τη συγκέντρωση της αξίας των πληροφοριών αυτοί ταξινομήθηκαν σε πέντε κατηγορίες: (Α) Ο συλλογισμός της διαθεσιμότητας ακολουθείται από όλες τις ομάδες των λυτών. Εξαίρεση αποτελούν κάποιοι από τους εκπαιδευτικούς που ακολουθούν αναλυτικούς τρόπους σκέψης. (Β) Ο συλλογισμός της αναγνώρισης που αποτελεί υποκατηγορία του συλλογισμού της διαθεσιμότητας ακολουθείται από κάποιους λύτες που ανήκουν κυρίως στις δύο ομάδες των φοιτητών. (Γ) Ο ευρετικός συλλογισμός της χρήσης κανόνων και μαθηματικών τύπων χρησιμοποιείται από όλες τις ομάδες των λυτών καθώς προσφέρει ασφάλεια στην επίλυση των προβλημάτων. Οι φοιτητές, όμως, διαφοροποιούνται από τις ομάδες των μαθητών και των εκπαιδευτικών, αφού χρησιμοποιούν μηχανικά τους μαθηματικούς τύπους χωρίς να μπορούν να ανακτήσουν τη σημασία τους. (Δ) Ο συλλογισμός της συγχώνευσης δεδομένων ακολουθείται από τους πρωτοετείς και επί πτυχίω φοιτητές, οι οποίοι παρουσιάζουν αδυναμία στην αποκωδικοποίηση των συμβολικών αναπαραστάσεων. (Ε) Τέλος, ο ευρετικός συλλογισμός της απλής σύγκρισης ανιχνεύτηκε στους μαθητές και στις δύο ομάδες των φοιτητών αλλά όχι στους εκπαιδευτικούς.

Συνοψίζοντας, οι πρωτοετείς και οι επί πτυχίω φοιτητές δεν διαφοροποιούνται μεταξύ τους και ακολουθούν τους παραπάνω ευρετικούς συλλογισμούς κατά την επίλυση των προβλημάτων, ακόμα και αυτούς που οδηγούν σε λανθασμένες λύσεις. Οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν περισσότερο εκείνους τους ευρετικούς συλλογισμούς που τους προσφέρουν ασφάλεια στην επίλυση, όπως η χρήση κανόνων και μαθηματικών τύπων. Παρατηρείται όμως μια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ τους καθώς οι μαθητές ακολουθούν και ευρετικούς συλλογισμούς που τους οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα, όπως ο συλλογισμός της απλής σύγκρισης και της διαθεσιμότητας, όχι όμως στον ίδιο βαθμό που τους ακολουθούν οι φοιτητές. Οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν και αυτοί το συλλογισμό της διαθεσιμότητας, αλλά σε μικρότερο βαθμό από τους μαθητές, ενώ δεν χρησιμοποιούν το συλλογισμό της απλής σύγκρισης ακολουθώντας περισσότερο αναλυτικούς τρόπους σκέψης και αυξάνοντας, κατά συνέπεια, τη δυσκολία της επίλυσης των προβλημάτων.

Σχολιάζοντας τα παραπάνω συμπεράσματα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι ευρετικοί συλλογισμοί ακολουθήθηκαν περισσότερο από τις δύο ομάδες των φοιτητών που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα, οι οποίες δεν είχαν πρόσφατα εξασκηθεί στην επίλυση προβλημάτων του ίδιου τύπου με αυτά που κλήθηκαν να λύσουν. Επιπλέον, η μη διαφοροποίηση μεταξύ τους μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εκπαίδευσή τους στο πανεπιστήμιο δεν επέδρασε στο συλλογισμό τους κατά την επίλυση των συγκεκριμένων προβλημάτων. Αντίθετα, οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην έρευνα, οι οποίοι είχαν εξασκηθεί πάνω στην επίλυση προβλημάτων στοιχειομετρίας, χρησιμοποίησαν λιγότερο ευρετικούς συλλογισμούς. Μάλιστα, οι εκπαιδευτικοί διαφοροποιήθηκαν από τους μαθητές καθώς, πιθανώς μέσω της εμπειρίας τους στην επίλυση προβλήματος, χρησιμοποίησαν εκείνους τους ευρετικούς συλλογισμούς που προσφέρουν ασφάλεια στην επίλυση και ακολούθησαν περισσότερο αναλυτικούς τρόπους σκέψης.

Βιβλιογραφία

Chandrasegaran A. L., Treagust D. F., Waldrip B. G., Chandrasegaran A., (2009), Students' dilemmas in reaction stoichiometry problem solving: deducing the limiting reagent in chemical reactions, *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 14–23.

Ercikan K., Arim R., Law D., (2010), Application of Think Aloud Protocols for Examining and Confirming Sources of Differential Item Functioning Identified by Expert Reviews, *Educational Measurement: Issues and Practice*, Vol. 29, No. 2, pp. 24–35.

Evans, J. St. B. T., (2006), The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation, *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(3), 378 – 395.

Maeyer J., Talanquer V., (2010), The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances, *Science Education*, Vol. 94, Iss. 6, pp. 963-984.

McClary L. , Talanquer V., (2010), Heuristic Reasoning in Chemistry: Making decisions about acid strength, *International Journal of Science Education*, 1-22.

Shah, A. K., Oppenheimer, D.M. (2008). Heuristics made easy: An effort-reduction framework. *Psychological Bulletin*, 134(2), 207 – 222.

Taber K. S, (2009), College students' conceptions of chemical stability: The widespread adoption of a heuristic rule out of context and beyond its range of application, *International Journal of Science Education*, 31, 1333 – 1358.

Van den Haaka M., De Jonga M., Schellensa P. J., (2003), Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: testing the usability of an online library catalogue, *Behaviour & Information Technology*, Vol. 22, No. 5, 339–351.

Van Someren M. W., Barnard Y. F., Sandberg J. A.C., (1994), Practical procedures in obtaining think aloud protocols, The Think Aloud Method, Published by Academic Press, London.