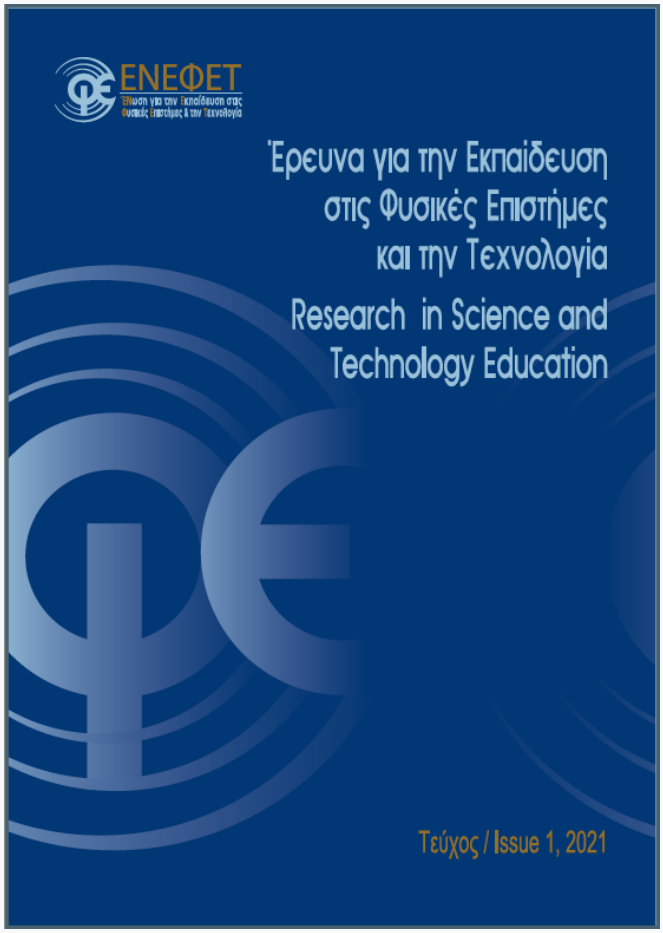
ePublishing

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Research in Science & Technology Education

Vol 1, No 1 (2021)

Special Issue



Συμβολή στην Έρευνα για τη Λύση Προβλημάτων Χημείας

Γεώργιος Τσαπαρλής

doi: 10.12681/riste.27271

To cite this article:

Τσαπαρλής Γ. (2021). Συμβολή στην Έρευνα για τη Λύση Προβλημάτων Χημείας. *Research in Science & Technology Education*, *1*(1), 87–110. https://doi.org/10.12681/riste.27271

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 20/02/2026 11:26:12

Συμβολή στην Έρευνα για τη Λύση Προβλημάτων Χημείας

Γεώργιος Τσαπαρλής
Ομότιμος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
gtseper@uoi.gr

Περίληψη

Η λύση προβλημάτων αποτελεί σημαντικό στόχο στη χημική εκπαίδευση, συμβάλλοντας στη σύνθεση, φασματοσκοπική ανάλυση, θεωρία, και χαρακτηρισμό των χημικών ενώσεων. Μετά τη διάκριση μεταξύ πραγματικών προβλημάτων και αλγοριθμικών ασκήσεων και την περιγραφή των διαφόρων τύπων και ειδών προβλημάτων Χημείας, και με αφορμή την έκδοση ενός διεθνούς συλλογικού βιβλίου για τη λύση προβλημάτων Χημείας, το άρθρο εστιάζει στο βασικό κεφάλαιο με το οποίο ο συγγραφέας συμμετέχει στο βιβλίο (Κεφ. 5). Το κεφάλαιο επανεξετάζει την υπόθεση υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης, η οποία συσχετίζεται με το επεξηγηματικό και προγνωστικό μοντέλο λύσης προβλημάτων των Johnstone και El-Banna. Το μοντέλο βασίζεται στην επίδραση της επεξεργασίας πληροφοριών, και ειδικά της χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης. Εξετάζονται και διερευνώνται καταστάσεις όπου το μοντέλο είναι έγκυρο, αλλά και οι περιορισμοί στην εφαρμογή του. Άλλοι γνωσιακοί παράγοντες που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη νοητική ικανότητα (ικανότητα *M*), τον βαθμό εξάρτησης/ανεξαρτησίας από το πεδίο, και το επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης κατά Piaget (επιστημονική συλλογιστική).

Λέξεις-κλειδιά: Εξάρτηση/ανεξαρτησία από το πεδίο, Λογική δομή προβλήματος, Λύση προβλημάτων Χημείας, Μοντέλο Johnstone–El-Banna, Υπόθεση υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης.

Abstract

Problem solving constitutes a major goal in chemistry education, contributing to the synthesis, spectroscopy, theory, analysis, and characterization of compounds. After the distinction between real problems and algorithmic exercises and the description of the different types and kinds of chemistry problems, and on the occasion of the publication of an international collective book on chemistry problem solving, this article focuses on the basic chapter with which the author participates in the book (Ch. 5). This article re-examines the Johnstone–El-Banna model, which is based on the working memory overload hypothesis, explores situations where the model is valid, and considers its

limitations. The model is based on the effect on problem solving of information processing, especially of working memory capacity. Other cognitive factors examined include the mental capacity (*M* capacity), the degree of field dependence/independence, and the Piagetian level of cognitive development (scientific reasoning).

Keywords: Field dependence/independence, Johnstone–El-Banna model, Logical structure of a problem, Problem solving in chemistry, Working memory overload hypothesis.

Εισαγωγή

Η λύση προβλημάτων είναι ένα πολύπλοκο σύνολο δραστηριοτήτων, διαδικασιών και συμπεριφορών για τις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μοντέλα σε διάφορες χρονικές στιγμές. Ειδικότερα, «η λύση προβλημάτων είναι μια διαδικασία με την οποία ο εκπαιδευόμενος ανακαλύπτει έναν συνδυασμό κανόνων που έχει ήδη μάθει, τους οποίους μπορεί να εφαρμόσει για να επιτύχει μια λύση σε μια νέα κατάσταση (δηλαδή σε νέο πρόβλημα)» (Holroyd 1985). Ο Zoller (1993) προσδιορίζει τη λύση προβλημάτων, μαζί με την κριτική σκέψη και τη λήψη αποφάσεων, ως γνωσιακές δεξιότητες υψηλής τάξεως (Higher-Order Cognitive Skills, HOCS), υποθέτοντας ότι αυτές οι δεξιότητες είναι τα πιο σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα της καλής διδασκαλίας. Κατά συνέπεια, η λύση προβλημάτων είναι αναπόσπαστη συνιστώσα στην εκπαίδευση των μαθητών/σπουδαστών στις Φυσικές Επιστήμες. Παράλληλα, οι Eylon και Linn (1998) θεωρούν τη λύση προβλημάτων ως μια από τις σημαντικότερες ερευνητικές διαστάσεις στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

Ευθύς εξαρχής πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ προβλημάτων και ασκήσεων (Johnstone 1993). Για παράδειγμα, πολλά προβλήματα στις Φυσικές Επιστήμες μπορεί να επιλύονται με την εφαρμογή σαφώς καθορισμένων διαδικασιών (αλγόριθμοι), μετατρέποντας έτσι τα προβλήματα σε αλγοριθμικές ασκήσεις ρουτίνας (Bodner 1987, 2003, 2015). Από την άλλη πλευρά, ένα πραγματικό/νέο πρόβλημα είναι πιθανόν να απαιτεί για τη λύση του τη συμβολή ορισμένων νοητικών ικανοτήτων.

Ο διαχωρισμός των γνωσιακών ή νοητικών δεξιοτήτων σε ανώτερης τάξεως (Higher-Order Cognitive/Thinking Skills, HOCS/HOTS) και σε χαμηλότερης τάξεως (Lower-Order Cognitive/Thinking Skills, LOCS/LOTS) είναι πολύ σχετικός. Έχει βρεθεί ότι οι σπουδαστές τα πάνε πολύ καλύτερα σε ερωτήσεις που απαιτούν LOTS από ό,τι σε αυτές που χρειάζονται HOTS. Είναι ακόμη αξιοσημείωτο ότι η επίδοση σε ερωτήσεις που απαιτούν HOTS συχνά δεν συσχετίζεται με την επίδοση σε ερωτήσεις που απαιτούν LOTS (Τσαπαρλής 2020α, 2020β, Tsaparlis 2020, Zoller et al. 1997). Στο σχολικό πλαίσιο, ένα έργο μπορεί να είναι μια άσκηση ή ένα πραγματικό πρόβλημα ανάλογα με την εξειδίκευση του θέματος και από το τι έχει διδαχθεί. Έτσι, ένα έργο μπορεί να είναι μια αλγοριθμική άσκηση για έναν σπουδαστή, αλλά πρόβλημα για έναν άλλο σπουδαστή (Niaz 1995a).

Τύποι και είδη προβλημάτων

Ο Johnstone (1993) έχει πραγματοποιήσει μια συστηματική ταξινόμηση των τύπων προβλημάτων, η οποία αναπαράγεται στον Πίνακα 1. Οι τύποι 1 και 2 είναι τα «φυσιολογικά» προβλήματα που συνήθως συναντώνται σε ακαδημαϊκές καταστάσεις. Ο τύπος 1 είναι αλγοριθμική άσκηση. Ο τύπος 2 μπορεί να γίνει αλγόριθμος με εμπειρία ή διδασκαλία. Οι τύποι 3 και 4 είναι πιο περίπλοκοι. Ειδικότερα στον τύπο 4 απαιτείται πολύ διαφορετικό σκεπτικό από αυτό που χρησιμοποιείται στους τύπους 1 και 2. Οι τύποι 5 έως 8 έχουν ανοιχτά αποτελέσματα ή/και στόχους και μπορεί να είναι πολύ απαιτητικοί. Ο τύπος 8 είναι ο πλησιέστερος στα καθημερινά προβλήματα της πραγματικής ζωής.

Πίνακας 1: Τύποι προβλημάτων κατά τον Johnstone (1993)

Τύπος	Δεδομένα	Μέθοδοι	Αποτελέσματα/ Στόχοι	Σχετικές ικανότητες
1.	Δίδονται	Οικείες	Δίδονται	Ανάκληση αλγορίθμων.
2.	Δίδονται	Μη Οικείες	Δίδονται	Αναζήτηση παρόμοιων προς γνωστές μεθόδους.
3.	Ελλιπή	Οικείες	Δίδονται	Ανάλυση του προβλήματος για να καθοριστεί ποια περαιτέρω δεδομένα απαιτούνται.
4.	Ελλιπή	Μη Οικείες	Δίδονται	Σύγκριση πιθανών μεθόδων και στη συνέχεια να αποφασίσουμε για τα απαιτούμενα δεδομένα.
5.	Δίδονται	Οικείες	Ανοικτά	Λήψη αποφάσεων σχετικά με τους κατάλληλους στόχους. Διερεύνηση δικτύων γνώσεως.
6.	Δίδονται	Μη Οικείες	Ανοικτά	Αποφάσεις για στόχους και επιλογές κατάλληλων μεθόδων.
7.	Ελλιπή	Οικείες	Ανοικτά	Μόλις καθοριστούν οι στόχοι από τον σπουδαστή, τα δεδομένα φαίνεται να είναι ελλιπή.
8.	Ελλιπή	Μη Οικείες	Ανοικτά	Πρόταση στόχων και μεθόδων για να πετύχουμε τους στόχους. Συνακόλουθη ανάγκη για πρόσθετα δεδομένα. Όλες οι παραπάνω δεξιότητες.

Συμπληρωματικά προς την ταξινόμηση του Johnstone, μπορεί κανείς να προσδιορίσει και τις ακόλουθες μορφές προβλημάτων: ποσοτικά προβλήματα που απαιτούν χρήση μαθηματικών εξισώσεων και υπολογισμών, ποιοτικά προβλήματα με ελλιπή ή περιττά δεδομένα, με μια μοναδική λύση/απάντηση, ή ανοιχτά προβλήματα με περισσότερες από μία λύσεις. Προβλήματα που δεν μπορούν να λυθούν ακριβώς αλλά χρειάζονται μαθηματικές προσεγγίσεις, προβλήματα που χρειάζονται εργαστηριακό πείραμα ή ηλεκτρονικό υπολογιστή ή τράπεζα δεδομένων. Θεωρητικά/νοητικά προβλήματα (προβλήματα σκέψης) ή προβλήματα πραγματικής ζωής. Προβλήματα που μπορούν να απαντηθούν μέσω μιας βιβλιογραφικής αναζήτησης ή χρειάζονται τη συνεργασία επιμέρους ειδικών.

Σύμφωνα με τους Bodner και Herron (2002), «Η λύση προβλημάτων (Χημείας) είναι αυτό που κάνουν οι χημικοί, ανεξάρτητα από το αν εργάζονται στον τομέα της σύνθεσης, της φασματοσκοπίας, της θεωρίας, της ανάλυσης ή του χαρακτηρισμού των χημικών ενώσεων». Οι Hancock et al. (2017) σχολίασαν ότι: «Ο στόχος μεγάλου μέρους της διδασκαλίας της Χημείας είναι να εφοδιάσουμε τους σπουδαστές με τις γνώσεις τις οποίες μπορούν να εφαρμόσουν για τη λύση προβλημάτων», ενώ οι Cooper και Stowe (2018) επιβεβαιώνουν ότι «ιστορικά, η λύση προβλημάτων ήταν ένας σημαντικός στόχος της χημικής εκπαίδευσης». Οι τελευταίοι συγγραφείς υποστηρίζουν περαιτέρω ότι η λύση προβλημάτων δεν είναι μια μονολιθική δραστηριότητα, οπότε οι ακόλουθες έξι δραστηριότητες «θα μπορούσαν όλες να καταταγούν (και έχουν καταταγεί) ως λύση προβλημάτων:

- Η λύση αριθμητικών προβλημάτων χρησιμοποιώντας δεδομένη εξίσωση
- Η πρόταση σύνθεσης οργανικών ενώσεων-στόχων
- Η κατάστρωση μηχανισμών αντιδράσεων
- Ο προσδιορισμός μοτίβων στα δεδομένα και η παραγωγή γνώσης από αυτά
- Η μοντελοποίηση χημικών φαινομένων με υπολογισμό και
- Η ταυτοποίηση μιας άγνωστης ένωσης από τις φασματοσκοπικές της ιδιότητες.

Ωστόσο, όλες αυτές οι δραστηριότητες απαιτούν διαφορετικούς τρόπους σκέψης, κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο και δεξιότητες» (Cooper et al. 2018).

Ένα βιβλίο για τη λύση προβλημάτων Χημείας

Στο πλαίσιο της σειράς «Εξελίξεις στην Έρευνα στη Διδακτική της Χημείας», εκδόθηκε πρόσφατα από τη Βασιλική Εταιρεία της Χημείας (Royal Society of Chemistry) το βιβλίο «Προβλήματα και Λύση Προβλημάτων στη Διδακτική της Χημείας» (Problems and Problem Solving in Chemistry Education), με επιμελητή έκδοσης τον συγγραφέα του παρόντος άρθρου (Tsaparlis 2021a). Το βιβλίο είναι το αποτέλεσμα συνεισφοράς πολλών επιμέρους ειδικών στον τομέα της Διδακτικής της Χημείας, με σαφή εστίαση σε αυτό που μπορεί να προσδιοριστεί ως λύση προβλημάτων.

Το βιβλίο αποτελείται από δεκαοκτώ κεφάλαια που καλύπτουν πολλές πτυχές της λύσης προβλημάτων Χημείας και οργανώνονται στις ακόλουθες ενότητες: (1) Γενικά θέματα στη λύση προβλημάτων Χημείας, (2) Λύση προβλημάτων στην Οργανική Χημεία και τη Βιοχημεία, (3) Λύση προβλημάτων Χημείας σε ειδικά πλαίσια (εργαστήριο, σύνδεση με ζωή και εφαρμογές, ομαδική και ενεργητική μάθηση), (4) Νέες Τεχνολογίες στη λύση προβλημάτων Χημείας και (5) Νέες Προοπτικές για τη λύση προβλημάτων Χημείας.

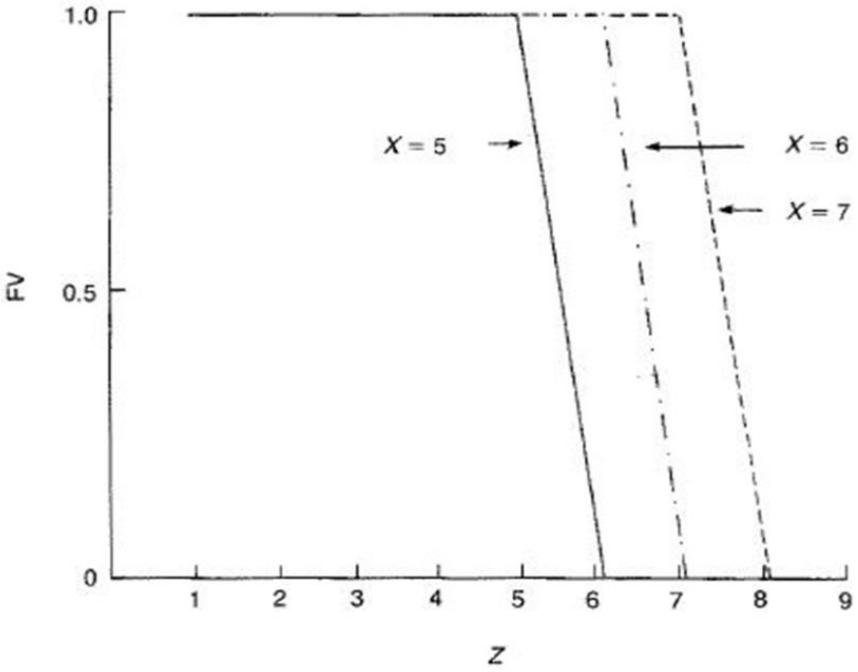
Στο υπόλοιπο αυτού του άρθρου θα εστιάσω στην περιγραφή των βασικών σημείων του 5ου κεφαλαίου με το οποίο συμμετέχω στο βιβλίο (Tsaparlis 2021b). Το κεφάλαιο αυτό, με τίτλο «Εξαρτάται από το πρόβλημα και από τον λύτη: Μια επισκόπηση της υπόθεσης υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης, η εφαρμογή της και οι περιορισμοί της», επανεξετάζει την υπόθεση υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης και με αυτήν συσχετίζεται το επεξηγηματικό και προγνωστικό μοντέλο λύσης προβλημάτων που εισηγήθηκαν οι Johnstone και El-Banna (1986, 1989). Το μοντέλο βασίζεται στην επίδραση στη λύση προβλημάτων της επεξεργασίας πληροφοριών, και ειδικά της χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης (working memory capacity). Άλλοι γνωσιακοί παράγοντες που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη νοητική ικανότητα ή ικανότητα *M* (Mental capacity), τον βαθμό εξάρτησης/ανεξαρτησίας από το πεδίο (degree of field dependence/independence), και το επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης κατά Piaget (επιστημονική συλλογιστική). Εξετάζονται και διερευνώνται καταστάσεις όπου το μοντέλο είναι έγκυρο, αλλά και οι περιορισμοί στην εφαρμογή του.

Το μοντέλο Johnstone–El-Banna

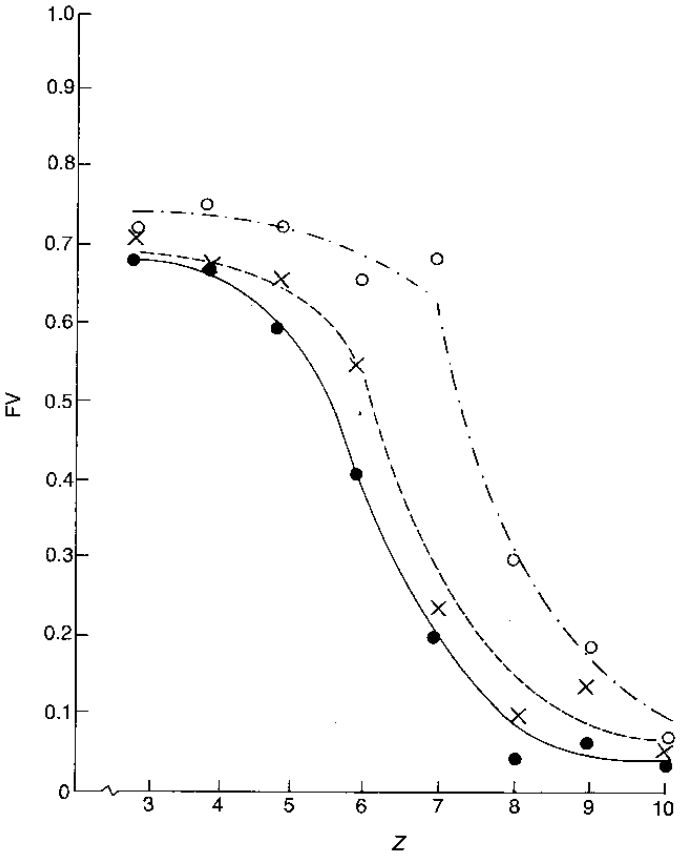
Το μοντέλο Johnstone–El-Banna (Johnstone 1984, Johnstone et al. 1986, 1989, Johnstone et al. 1980) είναι ένα επεξηγηματικό και προβλεπτικό μοντέλο που υποστηρίζει ότι ένας σπουδαστής θα είναι επιτυχής στη λύση ενός προβλήματος, εάν το πρόβλημα έχει μια νοητική απαίτηση *Z* (ή απαίτηση *M*/ mental demand) που είναι μικρότερη ή ίση με τη χωρητικότητα *X* της εργαζόμενης μνήμης του σπουδαστή: $Z \leq X$. Από την άλλη πλευρά, ο λύτης θα είναι ανεπιτυχής εάν $Z > X$, εκτός εάν διαθέτει στρατηγικές (π.χ. «σβολοποίηση») που του επιτρέπουν να μειώσει την τιμή του *Z* ώστε να γίνει μικρότερη από τη *X*. Σημειωτέον, ότι ακόμη και αν $Z \leq X$, ο λύτης μπορεί να αποτύχει λόγω έλλειψης πληροφοριών ή αδυναμία ανάκλησης σχετικών γνώσεων. Με αυτό το μοντέλο, η επεξεργασία πληροφοριών κατέλαβε κεντρικό ρόλο στην έρευνα λύσης προβλημάτων.

Το διάγραμμα 1 δείχνει ένα σετ εξιδανικευμένων καμπυλών, αναμενόμενων επί τη βάσει του μοντέλου Johnstone–El-Banna, ενώ το διάγραμμα 2 δείχνει καμπύλες που ελήφθησαν επί τη βάσει πραγματικών δεδομένων.

Διάγραμμα 1: Σετ εξιδανικευμένων καμπυλών αναμενόμενων επί τη βάσει του μοντέλου Johnstone–El-Banna. Το FV (facility value) αντιπροσωπεύει το κλάσμα επιτυχίας. [Αναπαραγωγή διαγράμματος από Johnstone & El-Banna (1989) έπειτα από άδεια από Taylor & Francis. © 1989 Taylor & Francis, Ltd.]



Διάγραμμα 2: Σιγμοειδείς καμπύλες ληφθείσες επί τη βάσει πραγματικών δεδομένων. [Αναπαραγωγή διαγράμματος από Johnstone & El-Banna (1989) έπειτα από άδεια από Taylor & Francis. © 1989 Taylor & Francis, Ltd.]



Η εργαζόμενη μνήμη

Η έννοια της εργαζόμενης μνήμης (working memory) αναφέρεται στο ανθρώπινο σύστημα περιορισμένης χωρητικότητας, το οποίο παρέχει λειτουργίες αποθήκευσης και επεξεργασίας πληροφοριών (Atkinson et al. 1968) και είναι απαραίτητο για πολύπλοκες γνωσιακές εργασίες, όπως μάθηση, συλλογιστική, κατανόηση γλώσσας και λύση προβλημάτων.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε εκτενώς από τον Baddeley και τους συνεργάτες του (Baddeley 1986, 1990, Baddeley et al. 1974, Baddeley et al. 2015). Η επεξεργασία πληροφοριών αναφέρεται σε ένα «χώρο συγκράτησης/σκέψης» (δηλαδή, την εργαζόμενη μνήμη), ο οποίος έχει περιορισμένη χωρητικότητα. Η ταχεία μείωση της επιτυχίας των σπουδαστών

συνδέεται με την υπερφόρτωση της εργαζόμενης μνήμης (X) και συνήθως αποδεικνύεται από μια αντίστροφη καμπύλη διαγράμματος S, η οποία είναι το γράφημα του ποσοστού επιτυχών λυτών ως συνάρτηση της απαίτησης Z του προβλήματος (βλ. διάγραμμα 2). Για παράδειγμα, οι σπουδαστές με χωρητικότητα $X = 6$ είναι, κατά κανόνα, επιτυχείς σε προβλήματα με απαιτήσεις Z από 2 έως 6, αλλά αποτυγχάνουν όταν το Z λαμβάνει τιμές 7 και 8. Το μέρος της καμπύλης με τη μεγαλύτερη κλίση θεωρείται ότι αντιστοιχεί στην υπερφόρτωση της εργαζόμενης μνήμης, μετά την οποία η μείωση της επιτυχίας μπορεί να είναι γρήγορη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπόθεση υποστηρίχθηκε από τις εξελίξεις στη νευροεπιστήμη (McGaugh 2000). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) αντίστοιχα, οι Smith και Jonides (1997) και Cabeza και Nyberg (2000) παρήγαγαν αποτελέσματα που υποστηρίζουν το μοντέλο του Baddeley, δείχνοντας ότι η ποσοτική διακύμανση στα βασικά συστατικά της εργαζόμενης μνήμης θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει μια ποσοτική διακύμανση στην ενεργοποίηση του εγκεφάλου και τη συμπεριφορική του απόδοση.

Ένας τρόπος μέτρησης της χωρητικότητας X είναι μέσω του τεστ αντίστροφων αριθμών [δοκιμή Digit Backward Span (DBS)]. Το τεστ αυτό έχει χρησιμοποιηθεί από τον Johnstone και από άλλους ερευνητές, καθώς και από τον γράφοντα, στις σχετικές εργασίες τους.

Η λογική δομή ενός προβλήματος

Η λογική δομή (logical structure) ενός προβλήματος καθορίζεται από τον αριθμό των λειτουργικών σχημάτων (operative schemata) που υπεισέρχονται στο πρόβλημα. Σύμφωνα με τον Piaget, ένα Σχήμα είναι μια εσωτερική δομή ή αναπαράσταση, ενώ οι τρόποι χειρισμού των Σχημάτων ονομάζονται Λειτουργίες. Στη θεωρία του Piaget, τα Σχήματα αναπτύσσονται συνεχώς και δεν παραμένουν σταθερά. Οι Niaz και Robinson (1992) εξέτασαν την επίδραση στην επίδοση των σπουδαστών της αυξομείωσης της λογικής δομής των προβλημάτων στοιχειομετρίας και ανέφεραν ότι το επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης των σπουδαστών είναι ο πιο συνεπής προγνωστικός παράγοντας επιτυχίας όταν αντιμετωπίζονται σημαντικές αλλαγές στη λογική πολυπλοκότητα των προβλημάτων Χημείας. Με τον τρόπο αυτό, η λογική δομή ενός προβλήματος μπορεί να είναι ο κύριος παράγοντας για τον προσδιορισμό της δυσκολίας του προβλήματος, υπερισχύοντας της νοητικής απαίτησης Z του προβλήματος.

Οι Tsaparlis, Kousathana και Niaz (1998) επεξέτειναν αυτή την εργασία, εξετάζοντας την επίδραση στην επίδοση μαθητών Λυκείου της αυξομείωσης της λογικής δομής, καθώς και της απαίτησης Z προβλημάτων χημικής ισορροπίας. Ανάλυση μεγάλου αριθμού τέτοιων προβλημάτων, οδήγησε πρώτα στη διάκριση των χημικών από τα μαθηματικά σχήματα. Τα μαθηματικά σχήματα είναι δύο ειδών, δηλαδή αλγεβρικά και υπολογιστικά, αλλά δεν δόθηκε προσοχή σε αυτά κατά τη μελέτη. Βάσει αυτής της ανάλυσης, καθώς και προηγούμενων εργασιών γι' αυτό το θέμα, εντοπίστηκαν τέσσερα σχήματα μοριακής χημικής ισορροπίας:

Σχήμα 1: Η διαδικασία εγκατάστασης της χημικής ισορροπίας.

Σχήμα 2: Η κατάσταση της χημικής ισορροπίας.

Σχήμα 3: Η περίπτωση των συστημάτων στην αέρια κατάσταση, με χρήση μερικών και ολικών πιέσεων καθώς και της σταθεράς K_p.

Σχήμα 4: Η διατάραξη της ισορροπίας και η εγκατάσταση μιας νέας ισορροπίας (Hackling et al. 1985, Niaz 1995b).

Διάφορα γενικά χημικά σχήματα εισέρχονται επίσης σε αυτά τα προβλήματα, όπως η εξίσωση ιδανικού αερίου, ο νόμος των μερικών πιέσεων του Dalton και η πυκνότητα ενός μείγματος. Επιπλέον, ένα γενικό σχήμα που υπεισέρχεται στα περισσότερα προβλήματα χημικής ισορροπίας είναι η στοιχειομετρία. Ωστόσο, επειδή η στοιχειομετρία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του Σχήματος 1, δεν θεωρήθηκε ως ξεχωριστό Σχήμα, αλλά αποτελεί ένα βήμα στον προσδιορισμό της απαίτησης *Z* ενός προβλήματος. Σημειωτέον ότι ως απαίτηση *Z* δεν θεωρείται ο αριθμός όλων των βημάτων για τη λύση, αλλά ο αριθμός των βημάτων στο Σχήμα με το μέγιστο αριθμό βημάτων. Αυτή η κατάσταση είναι ανάλογη με το καθοριστικό της ταχύτητας βήμα στον μηχανισμό μιας χημικής αντίδρασης.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τους Tsaparlis et al. (1998) επιβεβαίωσαν ότι το επίπεδο νοητικής ανάπτυξης έπαιξε τον κυρίαρχο ρόλο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι τα προβλήματα αυτά είχαν αλγοριθμικό χαρακτήρα, λόγω της εκτεταμένης εξάσκησης των σπουδαστών σε αυτά. Η εργαζόμενη μνήμη διατήρησε επίσης κάποια συμμετοχή, επειδή υπάρχει πάντοτε ανάγκη για επεξεργασία πληροφοριών κατά τη λύση των προβλημάτων. Ωστόσο, η εξάσκηση μπορεί να οδηγήσει σε «σβολοποίηση» της πληροφορίας (chunking – βλ. παραπάνω). Η εργαζόμενη μνήμη και η λειτουργική ικανότητα *M*, οι δύο μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν την επεξεργασία πληροφοριών, στις περισσότερες περιπτώσεις έδειξαν παρόμοιο αποτέλεσμα, με την τελευταία να δείχνει πιθανώς μικρότερη ισχύ για να εξηγήσει τη διακύμανση.

Επίδραση του αντιληπτικού πεδίου

Εκτός από τη απαίτηση *M* και τη λογική δομή, ο χειρισμός μιας άλλης γνωστικής μεταβλητής, αυτής του αντιληπτικού πεδίου ή της εξάρτησης/ανεξαρτησίας από το πεδίο μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στην επίδοση των σπουδαστών. Οι Niaz (1988) και Lawton (1993) έχουν δείξει ότι η αυξομείωση του αντιληπτικού πεδίου των έργων αναλογικής συλλογιστικής αλλάζει σημαντικά την επίδοση των σπουδαστών.

Η επίδραση του επιπέδου γνωσιακής ανάπτυξης (επιστημονική συλλογιστική) και η εξάρτηση/ ανεξαρτησία από το πεδίο σχετικά με την εννοιολογική κατανόηση και λύση προβλημάτων από μαθητές Γ΄ Λυκείου εξετάστηκε στην περίπτωση της ισορροπίας οξέος-βάσης (Demerouti et al. 2004) Βρέθηκε ότι και οι δύο μεταβλητές έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην επίδοση των μαθητών, με την εξάρτηση/ανεξαρτησία από το πεδίο να έχει σαφώς τη

μεγαλύτερη επίδραση. Το επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης συνδέθηκε με τις περισσότερες περιπτώσεις κατανόησης και εφαρμογής εννοιών, αλλά λιγότερο με καταστάσεις που περιλαμβάνουν πολύπλοκες εννοιολογικές καταστάσεις ή/και χημικούς υπολογισμούς. Από την άλλη πλευρά, η γνωσιακή ανάπτυξη εμπλέκεται τόσο σε καταστάσεις που απαιτούν εννοιολογική κατανόηση μόνο (ειδικά σε απαιτητικές περιπτώσεις), όσο και σε συνδυασμό με χημικούς υπολογισμούς.

Αναγκαίες συνθήκες για την ισχύ του μοντέλου Johnstone–El-Banna

Σε μια συστηματική μελέτη (Tsaparlis 1998), προτάθηκε ένα απλό προβλεπτικό μοντέλο για προβλήματα πολλαπλών βημάτων, και οι προβλέψεις του ελέγχθηκαν με βάση πραγματικά δεδομένα. Τα ευρήματα έδειξαν ότι το μοντέλο Johnstone–El-Banna είναι επιτυχές σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά ανεπιτυχές σε άλλες, ακόμη και σε περιπτώσεις νοητικής απαίτησης $Z = 2$ (πρόβλημα 2 βημάτων). Συγκεκριμένα, δοκιμάστηκαν μηχανισμοί που ενδέχεται να εμποδίσουν τη λύση ή που μπορεί να οδηγήσουν σε παραβίαση του μοντέλου και διατυπώθηκαν ορισμένες αναγκαίες συνθήκες για την επιτυχή εφαρμογή του μοντέλου.

Αναφέρθηκε παραπάνω ότι το μοντέλο Johnstone–El-Banna παρέχει μια αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για την επιτυχία της λύσης προβλημάτων. Δηλαδή, υπάρχει η πιθανότητα ανεπιτυχών λύσεων από λύτες που ικανοποιούν τη συνθήκη $Z \leq X$. Το ικανόν εξαρτάται από διάφορους παράγοντες αλληλεπίδρασης, π.χ. προηγούμενη γνώση, κλίση, κίνητρο, ενδιαφέρον (Johnstone et al. 1986).

Εκτός αυτών, λειτουργούν και ορισμένοι μηχανισμοί που ενδέχεται να εμποδίσουν τη λύση. Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι η έλλειψη στο ρεπερτόριο ενός υποκειμένου ακόμη και ενός μεμονωμένου βήματος (υποπρόβλημα/συνιστώσα) στη λύση. Αυτή η έλλειψη μπορεί να οφείλεται είτε στην έλλειψη γνώσης είτε στην αδυναμία ανάκλησης σχετικής γνώσης. Υπό ψυχολογικούς όρους, αναφέρεται κανείς είτε σε μη διαθεσιμότητα, δηλαδή την απουσία του μερικού βήματος από τη μακροπρόθεσμη μνήμη του υποκειμένου, ή για μη προσβασιμότητα, δηλαδή την αδυναμία ανάκτησης των σχετικών πληροφοριών από τη μακροπρόθεσμη μνήμη και τη μεταφορά στη βραχυπρόθεσμη μνήμη (Gregg 1986, Tulving 1968, 1972). Ένας δεύτερος μηχανισμός αποτυχίας είναι η μη ισοδυναμία των επιμέρους βημάτων (των υποπροβλημάτων) που συνθέτουν τη διαδικασία λύσης (βλ. παρακάτω). Μια τρίτη κατάσταση είναι εκείνη των αποτυχημένων λυτών που διαθέτουν τα απαιτούμενα βήματα. Εδώ τα υποκείμενα μπορούν να μεταφέρουν στη βραχυπρόθεσμη μνήμη τους τα επιμέρους βήματα, και όμως δεν καταφέρνουν να λύσουν το σύνθετο πρόβλημα. Τι προκαλεί αυτό το μπλοκάρισμα; Πρόκειται περί υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης; Μπορεί μια τέτοια υπερφόρτωση να δικαιολογήσει αστοχίες σε περιπτώσεις με τόσο χαμηλή απαίτηση ($Z = 2$); Δύο άλλοι παρεμποδιστικοί μηχανισμοί είναι η παρουσία «θορύβου» (noise) στο πρόβλημα, που προτάθηκε από τον Johnstone (Johnstone et al. 1982) και η λογική δομή του προβλήματος.

Από την άλλη πλευρά, το μοντέλο μπορεί να παραβιαστεί σε αρκετές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν η εξοικείωση με το πρόβλημα έχει αποκτηθεί μέσω εξάσκησης ή όταν

επιτυγχάνεται περικοπή (σβολοποίηση) του προβλήματος σε γνωστά επιμέρους κομμάτια. Χρησιμοποιήθηκαν απλά μη αριθμητικά προβλήματα οργανικής χημικής σύνθεσης με απαίτηση $Z = 2$ (Ongley 1959). Αυτά τα προβλήματα αφενός αποκλείουν αριθμητικούς και αλγεβρικούς υπολογισμούς, αφετέρου έχουν μια απλή χημική λογική δομή.

Τα επιμέρους βήματα δεν είναι απαραιτήτως ισοδύναμα

Είναι προφανές ότι όλα τα βήματα (υποπροβλήματα) ενός προβλήματος δεν είναι ισοδύναμα όσον αφορά τη μεταφορά τους από τη μακροπρόθεσμη μνήμη στην εργαζόμενη μνήμη. Η οργάνωση και οι συνδέσεις στη μακροπρόθεσμη μνήμη είναι ζωτικής σημασίας για την ευκολία ή τη δυσκολία ανάκλησης. Μόνο τα ευκόλως ανακαλούμενα βήματα (που τα ανακαλούν, ας πούμε, τα εννέα δέκατα ή περισσότερα υποκείμενα) μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα στον καθορισμό της απαίτησης ενός προβλήματος. Τέτοιες καταστάσεις προκαλούν αποκλίσεις των δεδομένων από το μοντέλο Johnstone–El-Banna. Θα πρέπει λοιπόν να ξέρει κανείς πώς να λαμβάνει υπόψη τις παρατηρούμενες αποκλίσεις και επιπλέον ποια προβλήματα πρέπει να επιλέξει κατά τον έλεγχο της ισχύος του μοντέλου.

Ένα απλό προβλεπτικό μοντέλο για προβλήματα πολλαπλών βημάτων

Ας υποθέσουμε ένα πρόβλημα του οποίου η λύση αποτελείται από Z βήματα που είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, δηλαδή η γνώση ή η έλλειψη γνώσης καθενός βήματος δεν επηρεάζεται από τη γνώση ή την έλλειψη γνώσης όλων των άλλων βημάτων (Tsaparlis 1998). Σημειωτέον ότι ένα βήμα αποτελεί στην πραγματικότητα ένα υποπρόβλημα.

Εάν P_i (i = 1, 2,.., Z) είναι η επί τοις εκατό επίδοση στο επιμέρους βήμα i, τότε η προβλεπόμενη επί τοις εκατό επίδοση είναι:

$$P_p = (1/100)(Z-1)\prod_i P_i = (1/100)(Z-1)P_1P_2...P_i.$$

Για ένα πρόβλημα με $Z = 2$, $P_p = (1/100)P_1P_2$. Η αιτιολόγηση του παραπάνω τύπου προέρχεται από τη θεωρία πιθανοτήτων για τη συνδυασμένη πιθανότητα ανεξάρτητων μεταξύ τους ενδεχομένων (Brookes et al. 1966). Έτσι, εάν η πιθανότητα του ενδεχομένου a να συμβεί είναι $p(a)$ και $p(b|a)$ δηλώνει την πιθανότητα εμφάνισης του ενδεχομένου b όταν έχει ήδη συμβεί το ενδεχόμενο a, τότε η πιθανότητα εμφάνισης ταυτοχρόνως των ενδεχομένων a και b δίνεται από το γινόμενο $p(ab) = p(a)\,p(b|a)$

Εάν η εμφάνιση του b είναι ανεξάρτητη από το a, τότε το $p(b|a)$ γίνεται $p(b)$, και $p(ab) = p(a)p(b)$. Ο συντελεστής $(1/100)(Z-1)$ εισάγεται ώστε να παίρνουμε πιθανότητες επί τοις εκατό. Στην περίπτωσή μας, υποθέτουμε ότι ένα υποκείμενο που μπορεί να ανακαλέσει τα συστατικά βήματα (τα υποπροβλήματα) ενός προβλήματος πρέπει, καταρχήν, να μπορεί

να συνδυάζει αυτά τα επιμέρους βήματα στην επίλυση ενός σύνθετου προβλήματος. Η ισχύς του παραπάνω τύπου υποστηρίχθηκε από πειραματικά δεδομένα (Tsaparlis 1998).

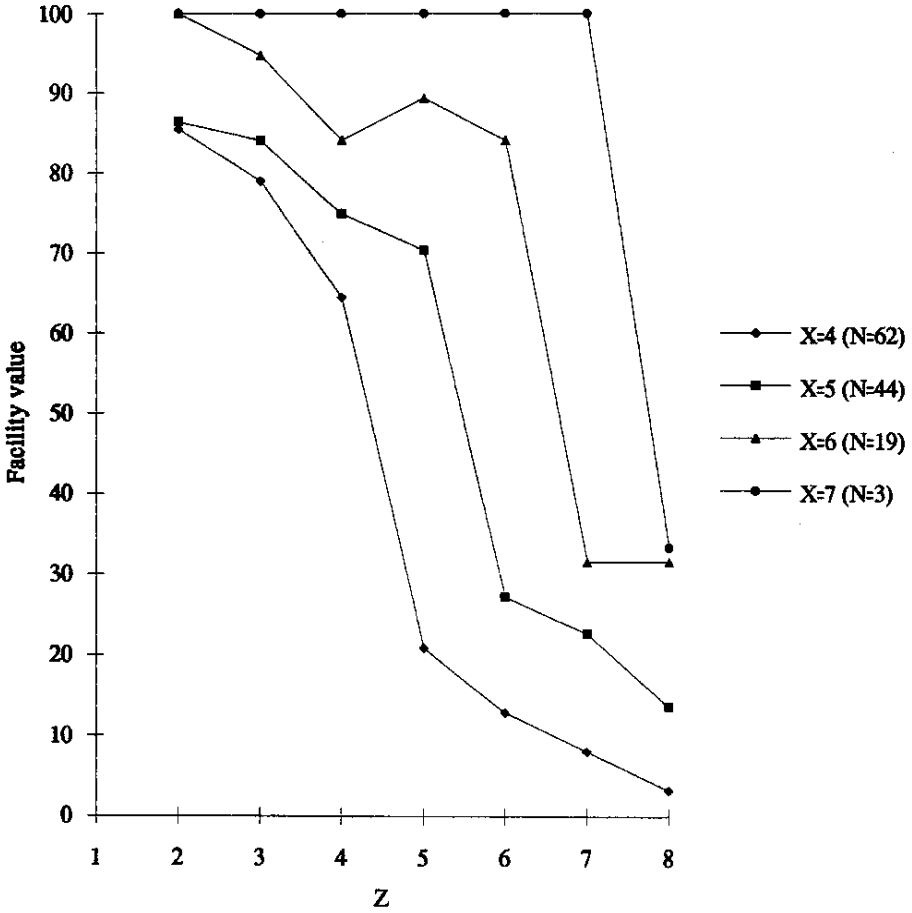
Έλεγχος της ισχύος του μοντέλου για προβλήματα οργανικής σύνθεσης με υψηλότερη νοητική απαίτηση

Ένα πρόβλημα οργανικής σύνθεσης μπορεί να είναι περίπλοκο και δύσκολο για τους σπουδαστές, επειδή οι τρόποι με τους οποίους αυτοί θα μπορούσαν να συνθέσουν την ουσία στόχο «Χ» από την αρχική ουσία «Α» μπορεί να είναι πολλοί. Το πρόβλημα είναι τότε πολύ απαιτητικό όσον αφορά την επεξεργασία πληροφοριών. Επιπλέον, οι σπουδαστές δυσκολεύονται να αποδεχτούν ότι μια αρχική ένωση που έχει υποστεί επεξεργασία με *ένα* μόνο σύνολο αντιδραστηρίων θα μπορούσε να οδηγήσει σε περισσότερα από ένα σωστά προϊόντα. Ορισμένες μελέτες έχουν ασχοληθεί με την οργανική σύνθεση (Bowen 1990, Bowen et al. 1991, Grove et al. 2010).

Η λύση των προβλημάτων οργανικής σύνθεσης δεν μπορεί να διδαχθεί με συστηματικό τρόπο και, ως εκ τούτου, έχει μη αλγοριθμική φύση. Αυτά τα προβλήματα είναι μοναδικά ως προς το ότι μπορεί να ικανοποιήσουν τις αναγκαίες συνθήκες που πρέπει να πληρούνται για την ισχύ του μοντέλου λύσης προβλημάτων (βλέπε παραπάνω): (i) αποκλείουν αριθμητικούς ή αλγεβρικούς υπολογισμούς, (ii) έχουν μια απλή (ενός Σχήματος) χημική λογική δομή και (iii) δεν μπορεί να απαντηθούν με την εφαρμογή μιας αλγοριθμικής διαδικασίας. Η τελευταία απαίτηση ισοδυναμεί με το να είναι πραγματικά προβλήματα και όχι ασκήσεις ρουτίνας. Πρέπει, ωστόσο, να αποδεχτούμε ότι για τους ειδικούς η λύση αυτών των προβλημάτων μπορεί να είναι μια ρουτίνα/αλγοριθμική διαδικασία.

Σε μια μελέτη σχετική με την ισχύ της υπόθεσης υπερφόρτωσης, χρησιμοποιήθηκαν δεκαέξι προβλήματα οργανικής χημικής σύνθεσης με ποικίλη νοητική απαίτηση από $Z = 2$ έως $Z = 8$ (Tsaparlis et al. 2000). Δύο δείγματα μαθητών συμμετείχαν στη μελέτη: ένα δείγμα, από μαθητές δημόσιων Λυκείων, που είχε λάβει (σε φροντιστήρια) κάποια προηγούμενη εκπαίδευση σε αυτά τα προβλήματα ($N = 191$), ενώ το άλλο δείγμα, από μαθητές φροντιστηρίων, δεν είχε σχετική εμπειρία ($N = 128$). Οι μαθητές ήταν στη Γ' Λυκείου και προετοιμάζονταν να λάβουν μέρος στις εισαγωγικές εξετάσεις για την τριτοβάθμια εκπαίδευση (ηλικίες 17-18). Το προβλεπόμενο μοτίβο παρατηρήθηκε και στα δύο δείγματα, αλλά το μοντέλο ήταν πιο χρήσιμο στην περίπτωση των μαθητών χωρίς προηγούμενη εξάσκηση. Το διάγραμμα 3 δείχνει τα αποτελέσματα για τους μαθητές χωρίς προηγούμενη εξάσκηση.

Διάγραμμα 3: Γραφήματα για μαθητές χωρίς προηγούμενη εμπειρία (μαθητές φροντιστηρίων) (*N* = 128). [Το διάγραμμα αναπαράγεται εδώ από Tsaparlis & Angelopoulos (2000) έπειτα από άδεια του εκδότη John Wiley and Sons. © 2000 Wiley Periodicals, Inc.]

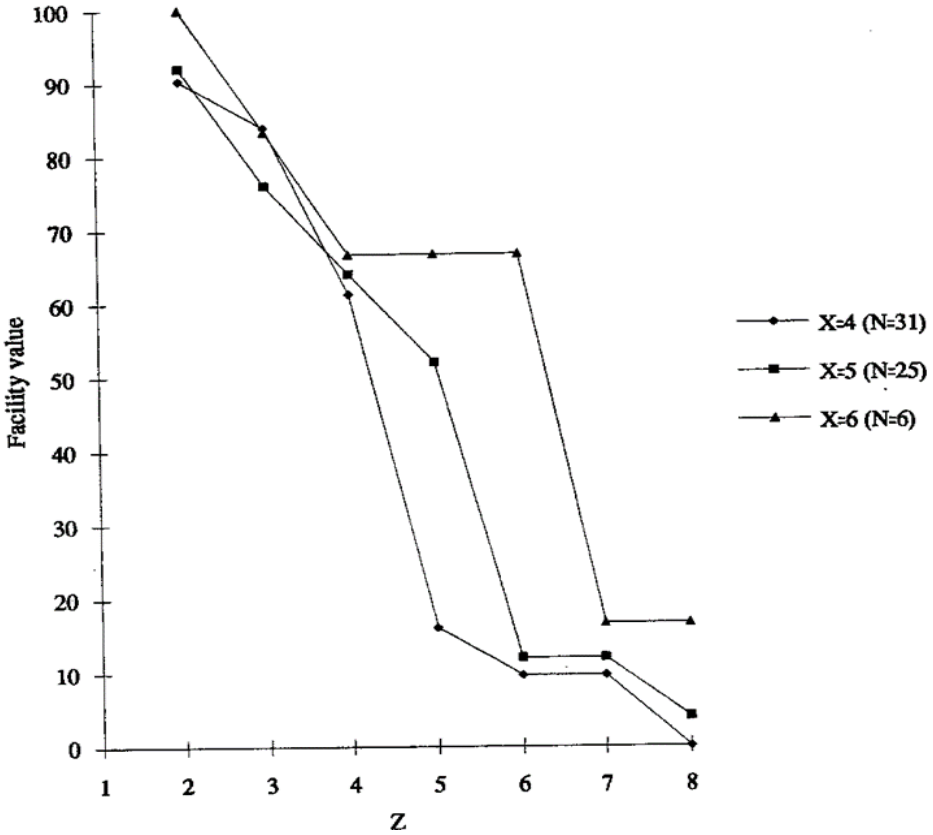


Οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις ενισχύονται από τη στατιστική. Για τα προβλήματα με $Z = 5$, μόνο οι διαφορές μεταξύ $X = 4$ και $X = 5$ και μεταξύ $X = 4$ και $X = 6$ ήταν στατιστικά σημαντικές. Για προβλήματα με $Z = 6$, οι διαφορές μεταξύ $X = 4$ και $X = 6$ και μεταξύ $X = 5$ και $X = 6$ ήταν στατιστικά σημαντικές. Για προβλήματα με $Z < 5$ και $Z > 6$, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές, με μία εξαίρεση μεταξύ $X = 4$ και $X = 6$ για $Z = 8$.

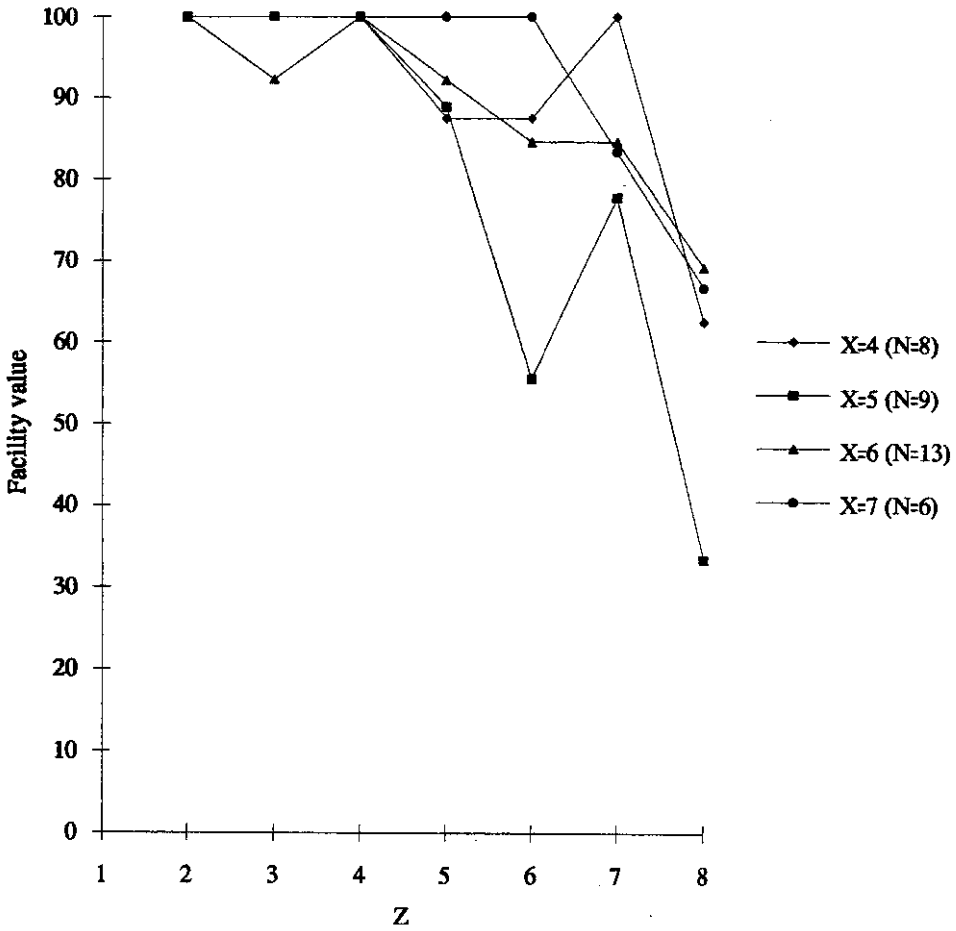
Η επίδραση της εξάσκησης

Μία από τις πιο σημαντικές αναγκαίες συνθήκες για τη λειτουργία του μοντέλου Johnstone–El-Banna προϋποθέτει την έλλειψη εξοικείωσης με τα προβλήματα. Ένα ανεξάρτητο ενδεικτικό στοιχείο δόθηκε από τους μαθητές από ένα συγκεκριμένο δημόσιο σχολείο, οι οποίοι κλήθηκαν να δηλώσουν εάν είχαν ή δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία σε τέτοια προβλήματα. 36 από τους μαθητές δήλωσαν ότι είχαν εμπειρία, ενώ 62 μαθητές δήλωσαν ότι δεν είχαν τέτοια εμπειρία. Το γράφημα της *X* συναρτήσει της *Z* για τα προβλήματα για τους μαθητές χωρίς προηγούμενη εμπειρία φαίνεται στο διάγραμμα 4 και για εκείνους με προηγούμενη εμπειρία στο διάγραμμα 5.

Διάγραμμα 4: Μαθητές από ένα συγκεκριμένο δημόσιο σχολείο (*N* = 62) χωρίς προηγούμενη εμπειρία σε προβλήματα οργανικής σύνθεσης. [Το διάγραμμα αναπαράγεται εδώ από Tsaparlis & Angelopoulos (2000) έπειτα από άδεια του εκδότη John Wiley and Sons. © 2000 Wiley Periodicals, Inc.]



Διάγραμμα 5: Μαθητές από ένα συγκεκριμένο δημόσιο σχολείο (*N* = 36) με προηγούμενη εμπειρία σε προβλήματα οργανικής σύνθεσης. [Το διάγραμμα αναπαράγεται εδώ από Tsaparlis & Angelopoulos (2000) έπειτα από άδεια του εκδότη John Wiley and Sons. © 2000 Wiley Periodicals, Inc.]

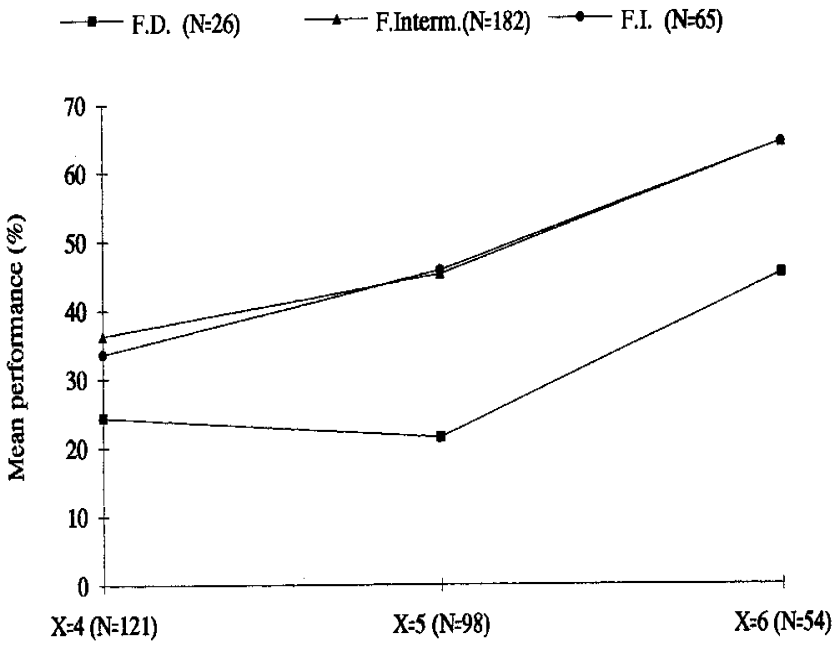


Στην πρώτη περίπτωση διατηρήθηκαν ορισμένα χαρακτηριστικά του μοντέλου Johnstone–El-Banna, ενώ το μοντέλο ήταν ασαφές στην τελευταία περίπτωση. Αυτό το εύρημα, επομένως, δεν είναι μόνο ένδειξη της ισχύος του μοντέλου, αλλά και δείχνει τη σημασία της απαίτησης τα προβλήματα να είναι νέα προβλήματα και όχι αλγοριθμικές ασκήσεις για να λειτουργήσει το μοντέλο. Εξάλλου, έχουμε ήδη διαπιστώσει ότι τα δεδομένα από τους μαθητές φροντιστηρίων ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο μοντέλο.

Η επίδραση της εξάρτησης από το πεδίο

Το διάγραμμα 6 συγκρίνει τη μέση επίδοση όλων των μαθητών έναντι της χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης τους για διάφορα επίπεδα εξάρτησης από το πεδίο. Φαίνεται ότι μόνο οι μαθητές που εξαρτώνται από το πεδίο είχαν μειονεκτική θέση. Από τα γραφήματα (που δεν παρατίθενται εδώ) βρέθηκε επίσης ότι το μοντέλο Johnstone–El-Banna λειτουργούσε για τους ανεξάρτητους από το πεδίο και τους ενδιάμεσους ως προς το πεδίο μαθητές, αλλά σε μικρότερο βαθμό για τους εξαρτώμενους από το πεδίο. Στην περίπτωση των μαθητών ενδιάμεσου πεδίου (N = 66) και ανεξάρτητους πεδίου (N = 23), τα διαγράμματα συμφωνούν με το μοντέλο, αλλά και πάλι η περίπτωση των μαθητών των ανεξάρτητων από το πεδίο βρέθηκε πιο κοντά στη θεωρητική κατάσταση.

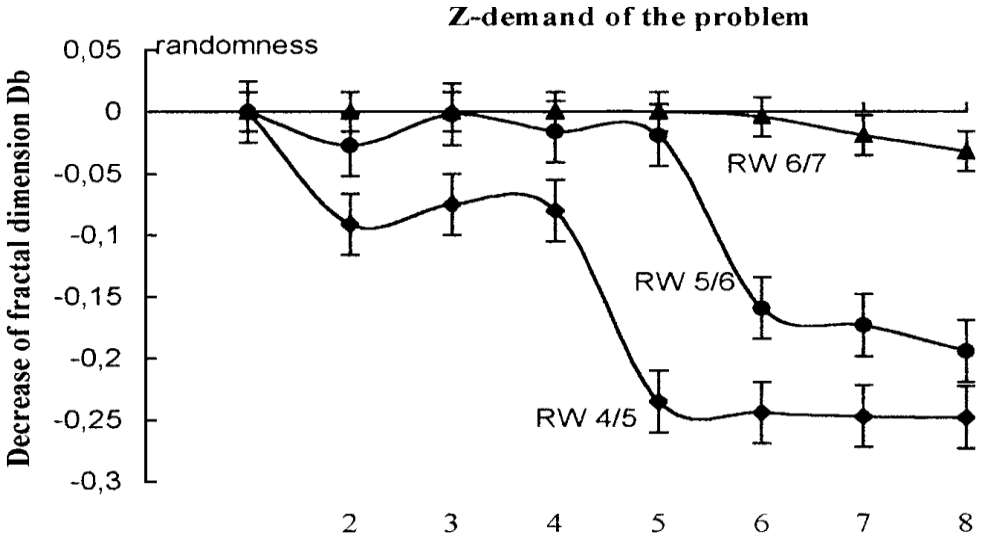
Διάγραμμα 6: Μέση απόδοση όλων των μαθητών (N = 273) έναντι της χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης X στα τρία επίπεδα εξάρτησης από το πεδίο. (F.D.: εξαρτημένοι πεδίου, F.Interm.(ενδιάμεσοι πεδίου), F.I.: ανεξάρτητοι πεδίου.) [Το διάγραμμα αναπαράγεται εδώ από Tsaparlis & Angelopoulos (2000) έπειτα από άδεια του εκδότη John Wiley and Sons. © 2000 Wiley Periodicals, Inc.]



Εφαρμογή μη γραμμικού μοντέλου θεωρίας πολυπλοκότητας

Η υπόθεση υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης έχει προσεγγιστεί περαιτέρω μέσω ενός μοντέλου θεωρίας πολυπλοκότητας, το οποίο καταδεικνύει τις μη γραμμικές αλλαγές στην επίδοση των σπουδαστών (Σταμοβλάσης και άλλοι 2002). Τα γραμμικά συστήματα έχουν σαφώς καθορισμένες μοναδικές λύσεις, ενώ ένα μη γραμμικό σύστημα έχει πολλαπλές λύσεις, και έτσι παρουσιάζει πολλαπλές συμπεριφορές. Τα μη γραμμικά συστήματα έχουν κανονική συμπεριφορά υπό ορισμένες παραμετρικές συνθήκες, αλλά υπό διαφορετικές παραμετρικές καταστάσεις, το σύστημα μπορεί να παρουσιάζει τυχαία και απρόβλεπτη συμπεριφορά, η οποία ονομάζεται χαώδης συμπεριφορά. Ως παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής, χρησιμοποιούμε τα δεδομένα της μελέτης σχετικά με την ισχύ της υπόθεσης υπερφόρτωσης, χρησιμοποιώντας προβλήματα οργανικής σύνθεσης που περιγράφτηκε παραπάνω (N = 319). Το διάγραμμα 7 δείχνει τη μείωση της μορφοκλασματικής διάστασης (διάστασης φράκταλ) των τριών τυχαίων περιπάτων 4/5, 5/6 και 6/7 έναντι της απαίτησης M (Z) του προβλήματος, για τα δεδομένα (Stamovlasis et al. 2001). Κάθε τυχαίος περίπατος συγκρίνει την επίδοση των σπουδαστών που έχουν χωρητικότητα εργαζόμενης μνήμης X = 4 έναντι X = 5, X = 5 έναντι X = 6 και X = 6 έναντι X = 7 αντιστοίχως. Η μείωση της διάστασης του φράκταλ σημαίνει απομάκρυνση από την τυχαιότητα. Η βαθμολογία των υποκειμένων με χωρητικότητα εργαζόμενης μνήμης 4 και 5 κατανέμεται τυχαίως σε προβλήματα με απαιτήσεις Z = 2, 3 και 4, επειδή όλοι λύνουν τα προβλήματα. Το πρόβλημα με Z = 5, που είναι η επόμενη τιμή μετά το κατώφλι, είναι ικανό να διαφοροποιήσει τα υποκείμενα αναλόγως με τη χωρητικότητα της εργαζόμενης μνήμης τους, κάνοντας τους «πεντάρηδες» να προηγούνται των «τεσσάρηδων».

Διάγραμμα 7: Μείωση της κλασματομορφικής διάστασης (διάστασης φράκταλ) των τριών τυχαίων περιπάτων 4/5, 5/6 και 6/7 έναντι της απαίτησης *M* (*Z*) του προβλήματος. Ξαφνικές πτώσεις εμφανίζονται στις τιμές 5, 6 και 7, μετά τις αντίστοιχες τιμές του κατωφλίου. Το αποτέλεσμα για τον τυχαίο περίπατο RW6 / 7 είναι λιγότερο προφανές λόγω του μικρού συνόλου δεδομένων [Αναπαραγωγή διαγράμματος από Stamovlasiς & Tsaparlis (2001) έπειτα από άδεια του εκδότη Springer Nature. © 2001]



Συμπεράσματα: Επεξηγηματικά και προγνωστικά μοντέλα στη λύση προβλημάτων

Τα επεξηγηματικά και προγνωστικά μοντέλα στη λύση προβλημάτων είναι ο στόχος του κεφαλαίου 5 στο βιβλίο «Προβλήματα και Λύση Προβλημάτων στη Διδακτική της Χημείας (Tsaparlis 2021a): «Εξαρτάται από το πρόβλημα και από τον λύτη: Μια επισκόπηση της υπόθεσης υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης, η εφαρμογή της και οι περιορισμοί της» (Tsaparlis 2021b). Τα μοντέλα αυτά μπορεί να είναι πολύ χρήσιμα για την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ικανότητα των μαθητών και σπουδαστών να λύνουν προβλήματα. Παραδοσιακά, έχει χρησιμοποιηθεί μια ποιοτική, διαισθητική μέθοδος για την αξιολόγηση της δυσκολίας ενός προβλήματος. Επιπλέον, η επίδοση των σπουδαστών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκ των υστέρων κριτήριο της δυσκολίας του προβλήματος. Ο σκοπός της μελέτης των επεξηγηματικών και προγνωστικών μοντέλων είναι να τοποθετηθούν σε αυστηρή και ποσοτική βάση και οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη γενική ικανότητα λύσης προβλημάτων από τους σπουδαστές και τη δομή των προβλημάτων καθαυτήν. Οι εργασίες του Johnstone, του Niaz, του Tsaparlis και πολλών

άλλων παρέχουν υποστήριξη για τη σημασία της επεξεργασίας πληροφοριών στη λύση προβλημάτων Χημείας.

Το κεφάλαιο εστιάζει στο μοντέλο Johnstone–El-Banna, εξετάζοντας τον κεντρικό ρόλο της εργαζόμενης μνήμης στην επεξεργασία πληροφοριών, αλλά και τον ρόλο άλλων κρίσιμων ψυχομετρικών μεταβλητών, όπως η λειτουργική νοητική ικανότητα (ικανότητα *M*), ο βαθμός εξάρτησης/ανεξαρτησίας από το πεδίο και η επιστημονική συλλογιστική (επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης κατά Piaget).

Τα ευρήματα πολλών μελετών επιβεβαιώνουν ότι η εξάρτηση ή η ανεξαρτησία από το πεδίο (field dependence/ independence) παίζει κυρίαρχο ρόλο στα πολύπλοκα εννοιολογικά προβλήματα και στα μη αλγοριθμικά και ανοιχτού τύπου προβλήματα (Overton et al. 2008; Tsaparlis 2005), ενώ, όπως είδαμε, το επίπεδο γνωσιακής ανάπτυξης μπορεί να είναι σημαντικό στην περίπτωση της κατανόησης και της εφαρμογής εννοιών, ειδικά στα αλγοριθμικά προβλήματα (ασκήσεις).

Καθοδηγούμενοι από τα ευρήματα της έρευνας, είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε μια σειρά προβλημάτων σε ένα επιστημονικό πεδίο με το ίδιο συλλογιστικό μοτίβο (ίδια λογική δομή) και διαφορετική νοητική απαίτηση (απαίτηση *Z*). Στη συνέχεια μπορούμε να διευκολύνουμε την επιτυχία των μαθητών και σπουδαστών, εισάγοντας πρώτα προβλήματα χαμηλής απαίτησης *Z* και αφήνοντας τα προβλήματα υψηλής απαίτησης *Z* για αργότερα στο μάθημα, όταν οι σπουδαστές θα έχουν αποκτήσει εμπειρία και κίνητρα. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να γνωρίζουν τη διάσταση πληροφορίας ενός προβλήματος και να αποφεύγεται η υπερφόρτωση της εργαζόμενης μνήμης, μειώνοντας την απαίτηση *Z* του προβλήματος, χωρίς να αλλάξει η λογική του δομή.

Το κεφάλαιο συλλέγει σε ένα μέρος τούς πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τη λύση προβλημάτων για ερευνητικές μετρήσεις. Το αποτέλεσμα σχετίζεται με τη ισχύ της υπόθεσης της υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης και την οφειλόμενη σε αυτήν αποτυχία των μαθητών και σπουδαστών και με το πώς η υπόθεση μοντελοποιήθηκε και ερευνήθηκε στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Τα μηνύματα προς τους εκπαιδευτικούς είναι ότι (α) η εξάσκηση στα προβλήματα μπορεί να αυξήσει τη σβολοποίηση της πληροφορίας, ώστε να μετακινηθούν οι αρχάριοι στην κατάσταση των ειδικών, και (β) ο σχεδιασμός προβλημάτων με υψηλή απαίτηση *Z*, μπορεί να εξηγήσει γιατί ορισμένα προβλήματα είναι δύσκολα.

Να σημειωθεί ακόμη ότι η καθοδηγούμενη διδασκαλία είναι ανώτερη από τις μη καθοδηγούμενες ή ελάχιστα καθοδηγούμενες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις, επειδή αυτή λαμβάνει υπόψη τη δομή της ανθρώπινης γνώσης, τις διαφορές ειδικών-αρχαρίων και το γνωστικό φορτίο. Το πλεονέκτημα της καθοδήγησης αρχίζει να υποχωρεί μόνο όταν οι σπουδαστές έχουν αποκτήσει αρκετά υψηλή προηγούμενη γνώση που τους παρέχει «εσωτερική» καθοδήγηση.

Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι το τελευταίο κεφάλαιο του βιβλίου (Κεφ. 18), επίσης από τον συγγραφέα του παρόντος άρθρου, αναφέρεται, υπό τη μορφή υστερογράφου, σε δύο συγκεκριμένα ζητήματα επίλυσης προβλημάτων. Το πρώτο ζήτημα τονίζει την ανάγκη, στην πράξη, τόσο για ανώτερης όσο και κατώτερης τάξεως νοητικών δεξιοτήτων (HOTS

και LOTS). Η συνέργεια μεταξύ HOTS και LOTS αναδεικνύεται εξετάζοντας τη συμβολή της Χημείας και της Βιοχημείας στις αγωνιώδεις προσπάθειες σε παγκόσμιο επίπεδο για την υπέρβαση της πανδημίας του κορωνοϊού (COVID-19), καταρχάς με τον προσδιορισμό (μέσα σε μόλις 12 ημέρες) της δομής του ιού SARS-CoV-2 και, στη συνέχεια, με την ανάπτυξη κατάλληλων διαγνωστικών τεστ, φαρμάκων και εμβολίων. Το δεύτερο ζήτημα εξετάζει την αναλογία μεταξύ της θεωρίας του χάους και της έρευνας στη λύση προβλημάτων. Η θεωρία του χάους αναφέρεται σε καταστάσεις δυναμικών συστημάτων όπου τυχαίες καταστάσεις αταξίας και ακανονικότητες διέπονται από ντετερμινιστικούς νόμους που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις αρχικές συνθήκες. Ο χρόνος Lyapunov παρέχει μια αναλογία για τη διάρκεια της προγνωστικής ισχύος των μοντέλων λύσης προβλημάτων, όπως η υπόθεση της υπερφόρτωσης της εργαζόμενης μνήμης. Η χρονική διάρκεια ισχύος των προβλέψεων τέτοιων μοντέλων είναι προς το παρόν άγνωστη. Ελπίζουμε ότι η μελλοντική έρευνα θα είναι σε θέση να παράσχει τις απαντήσεις.

Βιβλιογραφία

Σταμοβλάσης, Δ. & Τσαπαρλής, Γ. (2002). Συγκριτική διερεύνηση μοντέλων επεξεργασίας πληροφοριών στην λύση προβλημάτων χημείας με την συμβολή της θεωρίας πολυπλοκότητας. Πρακτικά του *3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου "Η Διδακτική Φυσικών Επιστημών και η Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση", Πανεπιστήμιο Κρήτης, Π.Τ.Δ.Ε., Ρέθυμνο,* 516-523.

Τσαπαρλής, Γ. (2020α). Πανελλαδικές Εξετάσεις Χημείας 2019: Η «πανωλεθρία» των μαθητών, η εξήγησή της με βάση τις «ανώτερης τάξεως γνωσιακές δεξιότητες» και οι γνώμες των εκπαιδευτικών. 1ο ΜΕΡΟΣ: Ο ρόλος των ικανοτήτων HOCS και LOCS - Ανάλυση δεδομένων από δείγματα γραπτών των Πανελλαδικών Εξετάσεων. *Χημικά Χρονικά*, 82 (2) (Μάρτιος 2020), 16-22. Πρόσβαση από: http://www.eex.gr/library/ximika-xronika/arxeio-teuxon-apo-to-2016

Τσαπαρλής, Γ. (2020β). Πανελλαδικές Εξετάσεις Χημείας 2019: Η «πανωλεθρία» των μαθητών, η εξήγησή της με βάση τις «ανώτερης τάξεως γνωσιακές δεξιότητες» και οι γνώμες των εκπαιδευτικών. 2ο ΜΕΡΟΣ: Οι γνώμες των εκπαιδευτικών – Οι δεξιότητες HOCS και LOCS ως επεξηγηματικό και προβλεπτικό εργαλείο για τις επιδόσεις. *Χημικά Χρονικά*, 82 (3) (Απρίλιος 2020), 10-16. Πρόσβαση από: http://www.eex.gr/library/ximika-xronika/arxeio-teuxon-apo-to-2016

Atkinson R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes, in W.K. Spence and J.T. Spence (eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, vol. 2. New York, NY, Academic Press, 89-185.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. London, Erlbaum.

Baddeley, A. D., Eysenck, M. W. & Anderson, M. C (2015). *Memory*. Glasgow, Psychology Press, 2nd edn.

Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (ed.), *Recent advances in learning and motivation*, vol. 8. New York, Academic Press, 47-89.

Bodner, G. (1987). Role of algorithms in teaching problem solving. *Journal of Chemical Education*, 64, 513-514.

Bodner, G. M. (2003). Problem solving: The difference between what we do and what we tell students to do. (Nyholm Award Lecture sponsored by the Royal Society of Chemistry.) *University Chemistry Educ*ation, 7, 37-45.

Bodner, G. M. (2015). Research on problem solving in chemistry, in J. Garcia-Martinez and E. Serrano-Torregrosa (eds.), *Chemistry education: Best practices, opportunities and trends*, ch. 8., Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 181–201.

Bodner, G. M. & Herron, J. D. (2002). Problem solving, in J.K. Gilbert, O. DeJong, R. Justi, D.F. Treagust, and J.H. van Driel (eds.), *Chemical education: Research-based practice*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 235–266.

Bowen, C. W. (1990). Representational systems used by graduate students while problem solving in organic synthesis. *Journal of Research in Science Teaching,* 27, 351-370.

Bowen, C.W. & Bodner, G. M. (1991). Problem-solving processes used by graduate students while solving tasks in organic synthesis. *International Journal of Science Education*, 13, 143-158.

Brookes, C. J., Betteley, I. G. & Loxston, S. M. (1966). *Mathematics and statistics for chemists*. London, Wiley.

Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience,* 2000, 12, 1-47.

Cooper, M. M. & Stowe, R. L. (2018). Chemistry education research: From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews*, 118, 6053-6087.

Demerouti, M., Kousathana, M. & Tsaparlis, G. (2004). Acid-base equilibria, Part II: Effect of developmental level and disembedding ability on students' conceptual understanding and problem-solving ability. *The Chemical Educator*, 9, 132-137.

Eylon, B. H. & Linn, M. C. (1998). Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Reviews of Educational Research*, 58, 251-301.

Gregg, V. H. (1986). *Introduction to human memory*. London, Routledge & Kegan Paul.

Grove, N. P. and Bretz, S. L. (2010). Perry's scheme of intellectual and epistemological development as a framework for describing student difficulties in learning organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 207-211.

Hackling, M. W. & Garnett, P. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education,* 7, 205-214.

Hancock, L., Howe, C., Jones, G., Phillips, T. & Plana D. (2017). Helping students learn to solve problems. *Education in Chemistry,* April issue.

Holroyd, C. (1985). What is a problem? What is problem solving? In A. H. Johnstone (ed.), *Problem solving. Is there a problem?* St. Andrews, The Royal Society of Chemistry, 2-7.

Johnstone, A. H. (1984). New stars for the teacher to steer by? *Journal of Chemical Education*, 61, 847-849.

Johnstone, A. H. (1993). Introduction, in: C. Wood & R. Sleet (eds.) *Creative problem solving in chemistry*. London, Royal Society of Chemistry, iv-vi.

Johnstone, A. H. & El-Banna, H. (1986). Capacities, demands, and processes - A predictive model for science education. *Education in Chemistry*, *23*, 80-84.

Johnstone, A. H. & El-Banna, H. (1989). Understanding learning difficulties - A predictive research model. *Studies in Higher Education*, 14, 159-168.

Johnstone, A. H. & Kellet, N. C. (1980). Learning difficulties in school science – Towards a working hypothesis. *European Journal of Science Education,* 2, 175-181

Johnstone, A. H. & Wham, A. J. B. (1982). The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 19, 71-73.

Lawton, C. A. (1993). Contextual factors affecting errors in proportional reasoning. *Journal of Research in Mathematics Education*, 24, 460-466.

McGaugh, J. L. (2000). Memory – A century of consolidation. *Science,* 287, 248–251.

Niaz, M. (1988). Manipulation of *M*-demand of chemistry problems and its effect on student performance: A neo-Piagetian study. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 643-657.

Niaz, M. (1995a). Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education,* 17, 343-355.

Niaz, M. (1995b). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation. *Science Education*, 79, 19–36.

Niaz, M. & Robinson, W. R. (1992). Manipulation of logical structure of chemistry problems and its effect on student performance. *Journal of Research in Science Teaching,* 29, 211-226.

Ongley, P. A. (1959). *Tutorial questions in organic chemistry*. London, University of London Press.

Overton, T. L. & Potter, N. M. (2008). Solving open-ended problems, and the influence of cognitive factors on student success. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 65-69.

Smith, E. & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, 5-42.

Stamovlasis, D. & Tsaparlis, G. (2001). Application of complexity theory to an information-processing model in science education. *Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences,* 5, 267-286.

Tsaparlis, G. (1998). Dimensional analysis and predictive models in problem solving. *International Journal of Science Education*, 20, 335-350.

Tsaparlis, G. (2005). Non-algorithmic quantitative problem solving in university physical chemistry: A correlation study of the role of selective cognitive variables. *Research in Science & Technological Education*, 23, 125-148.

Tsaparlis, G. (2020). Higher and lower-order thinking skills: The case of chemistry revisited. *Journal of Baltic Science Education*, *19*, 467-483.

Tsaparlis, G. (ed.) (2021a). *Problems and problem solving in chemistry education* – Analysing data, looking for patterns and making deductions. In series: Advances in Chemistry Education Research. London, Royal Society of Chemistry..

http://pubs.rsc.org/bookshop/collections/series?issn=2056-9335

Tsaparlis, G. (2021b). It depends on the problem and on the solver: An overview of the working memory overload hypothesis, its applicability, and its limitations. In G. Tsaparlis (ed.) *Problems and problem solving in chemistry education – Analysing data, looking for patterns and making deductions* (ch. 5). London, Royal Society of Chemistry.

Tsaparlis, G. and Angelopoulos, V. (2000). A model of problem solving: Its operation, validity, and usefulness in the case of organic-synthesis problems. *Science Education,* 84, 131-153.

Tsaparlis, G., Kousathana, M. & Niaz, M. (1998). Molecular-equilibrium problems: Manipulation of logical structure and of *M*-demand, and their effect on student performance. *Science Education,* 82, 437-454.

Tulving, E. (1968). In T. R. Dixon and D. L. Horton (eds.), *Verbal behavior and general behavior theory*. New Jersey, Prentice-Hall.

Tulving, E. (1972). In E. Tulving and W. Donaldson (eds.), *Organization of memory*. New York, Academic Press.

Zoller, U. (1993). Are lecture and learning compatible? Maybe for LOCS: Unlikely for HOCS. *Journal of Chemical Education*, 70, 195-197.

Zoller, U. & Tsaparlis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education*, 27, 117-130.

Συνοπτικό Βιογραφικό Σημείωμα

Ο **Γεώργιος Τσαπαρλής** είναι ομότιμος καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Έλαβε πτυχίο Χημείας από το ΕΚΠΑ και διπλώματα M.Sc. και Ph.D. στην Κβαντική Χημεία από το University of East Anglia (ΗΒ), με υποτροφία του ΙΚΥ. Το 1990 εργάστηκε ως μεταδιδακτορικός συνεργάτης του καθηγητή Alex H. Johnstone στο Πανεπιστήμιο της Γλασκόβης, ΗΒ. Υπηρέτησε ως μέλος ΔΕΠ του Τμήματος Χημείας (Τομέας Φυσικοχημείας) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων από το 1978 έως το 2015, ενώ το 1997 επελέγη και υπηρέτησε ως Σύμβουλος Χημικός στο Παιδαγωγικό

Ινστιτούτο. Επιβλέπων καθηγητής 19 εγκριθεισών διδακτορικών διατριβών και 26 εγκριθέντων ΜΔΕ στη Διδακτική των ΦΕ. Προσκεκλημένος κεντρικός ομιλητής σε πολλά διεθνή και ελληνικά συνέδρια Διδακτικής. Συγγραφέας και συσσυγγραφέας περισσότερων από 60 εργασιών σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά, κεφαλαίων σε 16 διεθνή βιβλία, συνεπιμελητής έκδοσης του βιβλίου "Concpts of Matter in Science Education" (Springer, 2013) και επιμελητής έκδοσης του βιβλίου "Problems and Problem Solving in Chemistry Education" (Royal Society of Chemistry, 2021). Επιπλέον, έχει δημοσιεύσει εκτενώς στα ελληνικά, συμπεριλαμβανομένου του βιβλίου «Θέματα Διδακτικής Φυσικής και Χημείας στη Μέση Εκπαίδευση (1989 και 1991, Γρηγόρης). Υπήρξε ο ιδρυτής και επιμελητής έκδοσης (2000–2004) και συνεπιμελητής έκδοσης (2005-2011) του περιοδικού Chemistry Education Research and Practice. Ήταν ο νικητής του Βραβείου Εκπαίδευσης (Education Award) της Royal Society of Chemistry για το 2016. Προσωπική ιστοσελίδα:

http://users.uoi.gr/gtseper/