ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 13 (2024)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Τα νοητικά μοντέλα των μαθητών για τη δύναμη ως λανθάνουσες μεταβλητές: Διερεύνηση της συνεκτικής γνώσης

Αναστασία Σαμαρά-Χρυσοστομίδου, Δημήτριος Σταμοβλάσης

doi: 10.12681/codiste.6956

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 17/12/2025 15:45:37

ΤΑ ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΩΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.

Αναστασία Σαμαρά-Χρυσοστομίδου[1], Δημήτριος Σταμοβλάσης[2]
[1]Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια ΔιΦΕΤ ΑΠΘ, [2]Αναπληρωτής Καθηγητής ΤΦΠ ΑΠΘ
anastasw@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η συνεκτικότητα των εννοιολογικών μοντέλων μαθητών αναφορικά με την έννοια της δύναμης, καθώς και η συνέπεια των εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών αναφορικά με τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα, όπως έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω ενός ερωτηματολογίου 12 κλειστών ερωτήσεων που μοιράστηκε σε 202 μαθητές της Α' και της Β' Γενικού Λυκείου, 4 σχολείων της Θεσσαλονίκης. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η συνεισφορά στον διάλογο αναφορικά με τη φύση της γνώσης και μεθοδολογικά ζητήματα, με γνώμονα, τόσο την εξέλιξη της έρευνας και της θεωρίας της γνωστικής ψυχολογίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών, όσο και της διαμόρφωσης κατάλληλων παιδαγωγικών προσεγγίσεων που απορρέουν από αυτές.

Λέξεις κλειδιά: εννοιολογικά μοντέλα, συνεκτική-κατακερματισμένη γνώση, δυνάμεις-κίνηση.

THE MENTAL MODELS OF STUDENTS ABOUT FORCE AS LATENT VARIABLES: INVESTIGATION OF THE FRAGMENTED KNOWLEDGE.

Anastasia Samara-Chryssostomidou[1], Dimitrios Stamovlasis[2]
[1]M.Sc Candidate, Aristotle University of Thessaloniki, [2]Associate Professor, Aristotle University of Thessaloniki
anastasw@hotmail.com

ABSTRACT

This paper investigates the consistency of students' conceptual models regarding the concept of force, as well as the consistency of students' alternative conceptions regarding Newton's 2nd Law, as identified through a literature review. The research was carried out through a 12-question closed-ended questionnaire distributed to 202 students of the 1st and 2nd grade of 4 high schools in Thessaloniki. The purpose of this research is to enrich the dialogue regarding the nature of knowledge and methodological issues, with a view to both the development of research and theory in cognitive psychology and science education and the formulation of appropriate pedagogical approaches derived from them.

Keywords: mental models, coherent-fragmented knowledge, forces-motion.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία των προγενέστερων ιδεών των μαθητών κατανοήθηκε με τη ανάπτυξη του εποικοδομισμού και πληθώρα ερευνών επικεντρώθηκε στη μελέτη των εναλλακτικών αντιλήψεων, εξετάζοντας τη φύση τους σε σχέση με τη συνεκτικότητα ή σταθερότητα που παρουσιάζουν. Σύμφωνα με κάποια οπτική, οι μαθητές έχουν αναπτύξει εννοιολογικές δομές, τις οποίες χρησιμοποιούνε με συνέπεια, ούτως ώστε να εξηγήσουν μία ποικιλία φαινομένων (Vosniadou & Brewer, 1992). Από την άλλη, διατυπώθηκε η υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης ή γνώσης σε κομμάτια (fragmented knowledge or knowledge in pieces). Σύμφωνα με αυτήν, κατά τη διάρκεια γνωστικών διαδικασιών ενεργοποιούνται κάποια γνωστικά στοιχεία (phenomenological primitives, p-prims), τα οποία ενώνονται και δίνουν οποιοδήποτε ερμηνευτικό σχήμα που παράγεται επί τόπου όταν μελετάται ένα φαινόμενο (diSessa et al., 2004). Με βάση τα παραπάνω, η έρευνα της γνωστικής ψυχολογίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει αναδείξει δύο κύριες ανταγωνιστικές οπτικές σχετικά με τη φύση της γνώσης των παιδιών πριν αυτά υιοθετήσουν την επιστημονική άποψη (αφελής γνώση). Η μία οπτική θεωρεί την αφελή γνώση των μαθητών συνεκτική και ομοιάζει με μία θεωρία με επεξηγηματική ισχύ (theory-like), εξηγώντας την πορεία της μάθησης μέσω της τροποποίησης συνεκτικών εννοιολογικών μοντέλων και κατά συνέπεια ως μία συνεχή διαδικασία (Vosniadou, 1994). Η δεύτερη προσέγγιση θεωρεί τη γνώση κατακερματισμένη, δηλαδή ότι δομείται πάνω σε γνωστικά στοιχεία τα οποία μπορούν να ενεργοποιηθούν, να διασυνδεθούν και να οργανωθούν, αναλόγως επί τόπου (in situ), και κατ' επέκταση θεωρεί τη μάθηση ως μία διαδικασία που μπορεί να είναι ασυνεχής σε ένα τελικό στάδιο. Πέρα από τις δύο αντίθετες οπτικές, έχουν διατυπωθεί και άλλες που προσπαθούν να τις συμβιβάσουν, θεωρώντας ότι μπορεί τα συνεκτικά νοητικά μοντέλα να υπάρχουν για κάποιο πλαίσιο-θέμα και για κάποιο άλλο όχι.

Το βασικό ζήτημα είναι ότι η έρευνα, για πολλά χρόνια, δεν ανέδειξε την μία ή την άλλη οπτική και αυτό αποτέλεσε συζήτηση μεταξύ των επιστημόνων, ενώ εγείρονται πολλά μεθοδολογικά ζητήματα (Nobes & Panagiotaki, 2009· Straatemeier et al., 2008). Οι υποστηρικτές των δύο προσεγγίσεων έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές μεθόδους κι εργαλεία στις έρευνές τους κι έχουν οδηγηθεί σε αντιθετικά ευρήματα. Τα ευρήματα των Vosniadou & Brewer (1992), αναφορικά με τα εννοιολογικά μοντέλα μαθητών για τη δύναμη και το σχήμα της γης συνηγορούν προς τη συνεκτικότητά τους, ενώ τα αντίστοιχα ευρήματα για το σχήμα της Γης των Vaiopoulou & Papageorgiou (2018), για τη δομή της ύλης των Stamovlasis et al. (2013), καθώς και για θερμικά φαινόμενα της Βλάχου (2021), αναδεικνύουν την απουσία συνεκτικότητας σε αυτά.

Το βασικότερο μεθοδολογικό πρόβλημα έγκειται στον τρόπο κατηγοριοποίησης ενός συνόλου εμπειρικών δεικτών σε νοητικά μοντέλα από τους ερευνητές. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις ταξινόμησης βασίζονται σε ένα ποσοστό συμφωνίας μεταξύ των παρατηρούμενων-εμπειρικών και των αναμενόμενων-θεωρητικών απαντήσεων. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πολλά μειονεκτήματα, τα οποία μπορούν να ξεπεραστούν με την εφαρμογή της Ανάλυσης Λανθανουσών Τάξεων (Latent Class Analysis-LCA), μιας προχωρημένης πολυμεταβλητής μεθόδου ανάλυσης η οποία έχει αναδειχθεί και καταδειχθεί ως η καταλληλότερη για να απαντήσει στο ερώτημα της συνεκτικότητας των νοητικών αναπαραστάσεων των παιδιών (Stamovlasis et al., 2013).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η κατανόηση της φύσης της γνώσης των μαθητών, ενώ το βασικό ερώτημα ήταν το εάν η γνώση τους πριν την κατάκτηση της επιστημονικής είναι συνεκτική ή κατακερματισμένη.

Συγκεκριμένα, αξιοποιείται με επιβεβαιωτικό τρόπο για την ανάλυση των δεδομένων η Ανάλυση Λανθανουσών Τάξεων (Latent Class Analysis, LCA), για να διερευνηθεί η συνεκτικότητα των εννοιολογικών μοντέλων μαθητών αναφορικά με την έννοια της δύναμης, όπως τα εντόπισαν οι Vosniadou & Ioannidis (2002), diSessa et al. (2004) και Özdemir & Clark (2009), καθώς και των κυρίαρχων

εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών αναφορικά με τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα, όπως αναδείχθηκαν μέσω αντίστοιχης βιβλιογραφικής επισκόπησης. Η χρησιμότητα της διερεύνησης των συγκεκριμένων υποθέσεων, πέραν της θεωρητικής αξίας, σχετίζεται με την εφαρμογή διαφορετικών παιδαγωγικών προσεγγίσεων που απορρέουν από αυτές.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως διπλωματική στο πλαίσιο του ΠΜΣ «Διδακτική της Φυσικής και Εκπαιδευτική Τεχνολογία», του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. (Σαμαρά-Χρυσοστομίδου, 2023).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα έρευνα αναπτύχθηκε σε τέσσερις φάσεις. Στην πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα σε διεθνή περιοδικά διδακτικής των φυσικών επιστημών με έμφαση στις δύο θεωρίες δόμησης της γνώσης. Στη δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε, αρχικά, μια σύντομη επισκόπηση της ιστορικής εξέλιξης της Μηχανικής και βιβλιογραφική επισκόπηση για τις εναλλακτικές αντιλήψεις που φέρουν οι μαθητές αναφορικά με την έννοια της δύναμης και με τη σύνδεσή της με την κίνηση, δηλαδή αναφορικά με τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα. Τέλος, δομήθηκε το εργαλείο της παρούσας έρευνας, ένα ερωτηματολόγιο 12 κλειστών ερωτήσεων. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκε το Force-RQ, με το οποίο αναζητήθηκαν συγκεκριμένα νοητικά μοντέλα που αφορούν την δύναμη και το οποίο εμπλουτίστηκε με ερωτήσεις που αφορούν την έννοια της δύναμης και τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα (Βαϊοπούλου, 2018). Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε συνολικό δείγμα 202 μαθητών Γενικού Λυκείου (ηλικίας 15-17 ετών), 160 ήταν μαθητές της Α' Λυκείου και 42 ήταν μαθητές της Β' Λυκείου, εκ των οποίων 111 κορίτσια και 91 αγόρια που ανήκαν σε τέσσερα διαφορετικά σχολεία της Θεσσαλονίκης. Ακολούθως έγινε η ανάλυση των δεδομένων με τη μέθοδο της LCA.

Η στατιστική μέθοδος που υιοθετήθηκε είναι αυτή της Ανάλυσης Λανθανουσών Τάξεων (LCA), η οποία εφαρμόστηκε με επιβεβαιωτικό τρόπο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε σε δύο ομαδοποιήσεις που αντιστοιχούν στα δύο σκέλη του ερωτηματολογίου. Η πρώτη περιέχει τα δεδομένα για τις ερωτήσεις Ε1-Ε5 που προέρχονται από το ερευνητικό εργαλείο Force-RQ της Βαϊοπούλου (2018) και ανιχνεύουν τα 4 νοητικά μοντέλα για την έννοια της δύναμης:

I. *Αποκτημένη δύναμη (acquired force)*
II. *Εσωτερική δύναμη (internal force)*
III. *Δύναμη Βαρύτητας (gravity)*
IV. *Δύναμη έλξης-απώθησης (force of push-pull)*

όπως εντοπίστηκαν από τους Vosniadou & Ioannidis (2002), diSessa et al. (2004) και Özdemir & Clark (2009).

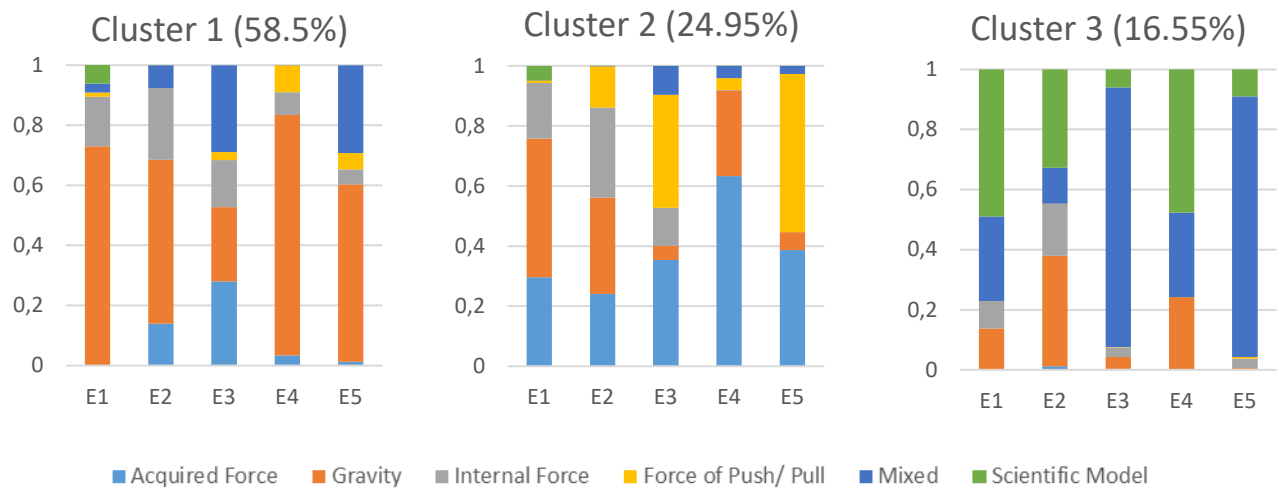
Από την ανάλυση των απαντήσεων προέκυψαν 3 Clusters (LCs):

- Το Cluster 2 που αντιστοιχεί σε ποσοστό 24,95% επί του συνολικού δείγματος εμφανίζεται ως ετερογενές, καθώς οι δεσμευμένες πιθανότητες εμφανίζουν διακυμάνσεις σε όλες τις ερωτήσεις,

χωρίς καμία να τείνει στη μονάδα. Επομένως, οι απαντήσεις αυτού του ποσοστού του δείγματος είναι ασυνεπείς και δεν αντιστοιχίζονται με ένα από τα ανιχνεύσιμα νοητικά μοντέλα.

- Το Cluster 1 που αντιστοιχεί σε ποσοστό 58,5% επί του συνολικού δείγματος εμφανίζει μία ομοιογένεια ως προς τις απαντήσεις που αντιστοιχούν στο νοητικό μοντέλο της «βαρύτητας», ενώ παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την Κατεύθυνση Ανθρωπιστικών Σπουδών και αρνητική συσχέτιση με τις Κατευθύνσεις της Γενικής Παιδείας και των Θετικών Σπουδών.
- Το Cluster 3 που αντιστοιχεί σε ποσοστό 16,55% επί του συνολικού δείγματος παρουσιάζει ομοιογένεια ως προς τις ανοιχτές απαντήσεις (mixed model) και τις απαντήσεις που συνάδουν με το επιστημονικό μοντέλο (scientific model), αναδεικνύοντας μία ομάδα του δείγματος που είτε έχει κατακτήσει το επιστημονικό μοντέλο, είτε δεν τους φάνηκε σωστή καμία από τις δοθείσες απαντήσεις και προσπάθησαν να διατυπώσουν τη σωστή. Γεγονός που υποδηλώνει, με τη σειρά του, μία ομάδα που παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον για τη Φυσική ή/και μεγαλύτερη προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης. Το Cluster 3 συσχετίζεται θετικά με τη Θετική Κατεύθυνση Σπουδών (Physical Sciences) και αρνητικά με τη Κατεύθυνση Ανθρωπιστικών Σπουδών (Social Sciences & Humanities), όπως ήταν αναμενόμενο θεωρητικά.

Σχήμα 1: Η διακύμανση των δεσμευμένων πιθανοτήτων για τα 3 Cluster 1 που αναδύθηκαν από τις ερωτήσεις E1-E5.



Πίνακας 1: Οι επιδράσεις του της επίδοσης και της κατεύθυνσης σπουδών στα 3 Clusters (E1-E5).

Covariates	Cluster1 (beta)	z-value	Cluster2 (beta)	z-value	Cluster3 (beta)	z-value
Branches						
General	-0,605	-3,411*	0,143	0,581	0,462	2,249*
Physical Sciences	-0,237	-0,913	-0,907	-2,356*	1,144	3,964*
Social Sciences & Humanities	0,842	3,434*	0,764	2,205*	-1,605	-5,716*
Performance						
GPA	0,053	0,730	-0,327	-4,077*	0,273	2,572*
Physics	-0,062	-1,249	-0,284	-5,048*	0,345	4,684*
Chemistry	-0,043	-0,795	-0,218	-3,655*	0,261	3,047*
Math	-0,042	-0,914	-0,199	-3,974*	0,242	3,602*

*z >1,76

Η δεύτερη ομαδοποίηση των δεδομένων αφορά τις ερωτήσεις E6-E12, οι οποίες δομήθηκαν αποκλειστικά για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας και ανιχνεύουν τις 5 κυρίαρχες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών για τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα:

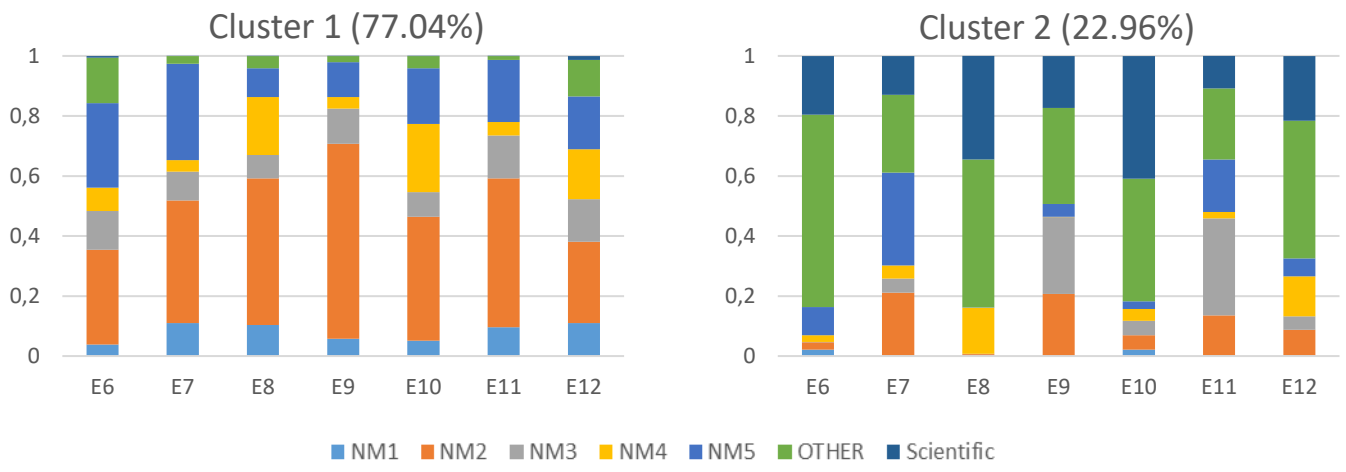
I. ***NM1:*** *Η δύναμη είναι η αιτία της κίνησης*
II. ***NM2:*** *Η δύναμη είναι ανάλογη της ταχύτητας του σώματος.*
III. ***NM3:*** *Κάθε κίνηση προϋποθέτει την ύπαρξη δύναμης στην κατεύθυνσή της.*
IV. ***NM4:*** *Η «εσωτερική δύναμη» ενός κινούμενου σώματος προοδευτικά εξασθενεί.*
V. ***NM5****: Σταθερή κίνηση σημαίνει σταθερή δύναμη.*

όπως αναδύθηκαν από τη βιβλιογραφία.

Από την ανάλυση των απαντήσεων προέκυψαν 2 Clusters (LCs):

- Το Cluster 1 που αντιστοιχεί σε ποσοστό 77,04% επί του συνολικού δείγματος εμφανίζεται ως ετερογενές. Αναδεικνύονται σποραδικά οι δεσμευμένες πιθανότητες που αντιστοιχούν στο νοητικό μοντέλο της δύναμης ως κινητήριο αίτιο (NM1) και στο νοητικό μοντέλο της ανάλογης ως προς την ταχύτητα δύναμης (NM2) με τις τιμές τους να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση σε σαφώς όμοιες ερωτήσεις (E8-E10,E9-E11), γεγονός που αποτελεί ισχυρή ένδειξη της ασυνέπειας των απαντήσεων και του συνεπακόλουθου κατακερματισμού της γνώσης.
- Τέλος, παρατηρούμε ότι και από αυτήν την ομαδοποίηση των δεδομένων προέκυψε ένα Cluster (LC 2) που αντιστοιχεί σε ποσοστό 22,96% επί του συνολικού δείγματος, το οποίο είναι περισσότερο ομοιογενές ως προς τις ανοιχτές απαντήσεις (mixed model) και τις απαντήσεις που συνάδουν με το επιστημονικό μοντέλο (scientific model). Το Cluster αυτό συσχετίζεται θετικά με τη Θετική Κατεύθυνση Σπουδών (Physical Sciences) και αρνητικά με τη Κατεύθυνση Ανθρωπιστικών Σπουδών (Social Sciences & Humanities).

Σχήμα 2: Η διακύμανση των δεσμευμένων πιθανοτήτων για τα 3 Cluster 1 που αναδύθηκαν από τις ερωτήσεις E6-E12.



Πίνακας 2: Οι επιδράσεις του φύλου, της επίδοσης, της κατεύθυνσης σπουδών και του σχολείου στα δυο Clusters (E6-E12).

Covariates	Cluster1 (beta)	z-values	Cluster2 (beta)	z-values
Gender				
Boys	-0,300	-3,319*	0,300	3,319*
Girls	0,300	3,319*	-0,300	-3,319*
Performance				
GPA	-0,201	-2,996*	0,201	2,996*
Physics	-0,256	-4,976*	0,256	4,976*
Chemistry	-0,177	-3,202*	0,177	3,202*
Math	-0,209	-4,560*	0,209	4,560*
Branch				
General	-0,532	-3,719*	0,532	3,719*
Physical Sciences	-0,951	-5,359*	0,951	5,359*
Social Sciences & Humanities	1,483	6,498*	-1,483	-6,498*
School				
1	0,402	2,013*	-0,402	-2,013*
2	0,580	2,812*	-0,580	-2,812*
3	-0,455	-1,438	0,455	1,438
4	-0,527	-1,153	0,527	1,153

*z >1,76

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η LCA, μία προχωρημένη πολυμεταβλητή μέθοδος, είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό διακριτών ομάδων (clusters) ατόμων με συγκεκριμένα μοτίβα απαντήσεων. Συνολικά, η εφαρμογή της LCA, η οποία αξιοποιήθηκε με επιβεβαιωτικό τρόπο για συγκεκριμένα νοητικά μοντέλα, έδειξε ότι οι μαθητές ταξινομήθηκαν σε διακριτές ομάδες με παρόμοια μοτίβα απαντήσεων, τα οποία όμως δεν συνάδουν με τα υπό εξέταση νοητικά μοντέλα. Οι απαντήσεις όλων των ομάδων ήταν ασυνεπείς εκτός της ομάδας που προέκυψε από το πρώτο σκέλος του ερωτηματολογίου και αντιστοιχίζεται με το μοντέλο της βαρύτητας και της ομάδας που, είτε υιοθετεί το επιστημονικό μοντέλο, είτε δεν συμφωνούσε με κανένα από τα ανιχνεύσιμα νοητικά μοντέλα και προσπάθησε να διατυπώσει τη σωστή ερμηνεία. Ωστόσο, η καταγεγραμμένη εσωτερική συνέπεια αυτών των ομάδων παραμένει μη καθολική (οι δεσμευμένες πιθανότητες δεν τείνουν στη μονάδα σε όλες τις ερωτήσεις) για να υποδείξει με ασφάλεια το συμπέρασμα της συνεκτικότητας της λανθάνουσας μεταβλητής.

Συνολικά, το συμπέρασμα του στατιστικού ελέγχου είναι ότι δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόδεση (H_0) που συνάδει με την προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης για την έννοια της δύναμης και τον 2ο Νόμο του Νεύτωνα.

Το κύριο συμπέρασμα της παρούσας έρευνας είναι ότι η γνώση των μαθητών για την έννοια της δύναμης και τον 2ο νόμο του Νεύτωνα δεν είναι συνεκτική και δεν αντιστοιχεί σε κάποιο από τα αντίστοιχα καταγεγραμμένα νοητικά μοντέλα. Εντούτοις, η ένδειξη της μη συνεκτικότητας της γνώσης δεν αποτελεί συγχρόνως και απόδειξη του κατακερματισμού της.

Το ουσιαστικό μήνυμα των αποτελεσμάτων δεν είναι η διάψευση των συγκεκριμένων νοητικών μοντέλων, αλλά το έναυσμα για μια συζήτηση επιστημολογικού περιεχομένου. Με βάση τα ευρήματα αυτά και άλλα συναφή που έχουν πρόσφατα εμφανιστεί στη βιβλιογραφία, διακυβεύεται περισσότερο όχι μόνο η παραδοσιακή μεθοδολογική προσέγγιση στο πεδίο των νοητικών μοντέλων, αλλά και η επιστημολογική θεώρηση της διαδικασίας της γνώσης στο πλαίσιο γνωστού ως substance philosophy (Seibt, 2022).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαϊοπούλου, Χ., Π. (2018). Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες (Διδακτορική Διατριβή). Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Βλάχου, Μ. (2021). Διερεύνηση της συνεκτικότητας της γνώσης των μαθητών Γυμνασίου για τα θερμικά φαινόμενα με την εφαρμογή της Ανάλυσης Λανθανουσών Τάξεων (Διπλωματική εργασία) Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σαμαρά-Χρυσοστομίδου, Α. (2023). Η υπόθεση της συνεκτικής ή της κατακερματισμένης γνώσης για την έννοια της δύναμης και την κίνηση (Διπλωματική εργασία) Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, *28*(6), 843–900. https://doi.org/10.1016/j.cogsci.2004.05.003

Ionnides, C., & Vosniadou, S. (2002). the Changing Meaning of force. *The Cambridge Law Journal*, *61*, 1–77. https://doi.org/10.1017/S0008197302001630

Nobes, G., & Panagiotaki, G. (2009). Mental models or methodological artefacts? Adults' 'naïve' responses to a test of children's conceptions of the earth. British Journal of Psychology, 100(2), 347–363. https://doi.org/10.1348/000712608X332909

Ozdemir, G., & Clark, D. (2009). Knowledge structure coherence in Turkish students' understanding of force. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(5), 570–596. https://doi.org/10.1002/tea.20290

Seibt, J. (2022). Process Philosophy. In E. N. Zalta & U. Nodelman (Eds.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 202). Metaphysics Research Lab, Stanford University.

Stamovlasis, D., Papageorgiou, G., & Tsitsipis, G. (2013). The coherent versus fragmented knowledge hypotheses for the structure of matter: An investigation with a robust statistical methodology. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(4), 485–495. https://doi.org/10.1039/c3rp00042g

Straatemeier, M., van der Maas, H. L. J., and Jansen, B. R. J. (2008). Children's knowledge of the earth: A new methodological and statistical approach. Journal of Experimental Child Psychology, 100, 276–296.

Vaiopoulou, J., & Papageorgiou, G. (2018). Primary students' conceptions of the Earth: Re-examining a fundamental research hypothesis on mental models. *Preschool and Primary Education*, *6*(1), 23. https://doi.org/10.12681/ppej.14210

Vosniadou, S., Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. Cognitive Psychology, 24(4),535-585.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. Learning and Instruction, 4(1), 45-69. https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3