

Το παρόν κεφάλαιο είναι αντλημένο από: Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες* (Διδακτορική διατριβή). Αλεξανδρούπολη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

1. Εννοιολογική αλλαγή

1.1. Σημασιολογική ερμηνεία

Μια από τις θεμελιώδεις μαθησιακές επιδιώξεις στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών είναι η ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης σε μια ευρεία ποικιλία θεματικών ενοτήτων. Γενικότερα, ο όρος *εννοιολογική αλλαγή* (conceptual change) περιγράφει τη διαδικασία σύμφωνα με την οποία μεταβάλλονται οι έννοιες και οι μεταξύ τους σχέσεις. Αυτή η αλλαγή μπορεί να επέλθει αυθόρμητα κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου ή να είναι το αποτέλεσμα ορισμένων παρεμβάσεων ή εμπειριών. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος *εννοιολογική αλλαγή* χρησιμοποιείται για να αποδώσει τη διαδικασία κατά την οποία οι διαισθητικές αντιλήψεις και οι αρχικές νοητικές δομές των παιδιών αναφορικά με διάφορες έννοιες και φαινόμενα αναδομούνται, ώστε να είναι σύμφωνες με την επιστημονική γνώση. Στην προσπάθεια να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο αλλάζουν το περιεχόμενο ή και η οργάνωση των εννοιών, η εννοιολογική αλλαγή έχει αποτελέσει παραδοσιακά αντικείμενο διεπιστημονικής έρευνας από τους τομείς της Αναπτυξιακής και Γνωστικής Ψυχολογίας, της Φιλοσοφίας και Ιστορίας της Επιστήμης και της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (Chi, Slotta, & De Leeuw, 1994; diSessa, 2006; Duit & Treagust, 2003; Rusanen & Pöyhönen, 2013).

Η κεντρική αρχή της έρευνας για την εννοιολογική αλλαγή είναι η εποικοδομητική ιδέα ότι η *αφελής φυσική* (naïve physics), δηλαδή το σχετικά συνεκτικό σύνολο των αντιλήψεων των αρχαρίων για τα φυσικά φαινόμενα πριν τη διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών, εμποδίζει τη μάθηση. Μάλιστα, επειδή οι ιδέες αυτές στηρίζονται από την καθημερινή εμπειρία, θεωρείται ότι είναι επίμονες και απαιτείται προσεκτικά σχεδιασμένα διδασκαλία για την αναδόμησή τους, χωρίς, όμως, να υπάρχει πάντα το αναμενόμενο αποτέλεσμα (diSessa, 2013; Vosniadou & Skopeliti, 2014). Από την εκπαιδευτική εμπειρία φαίνεται ότι πράγματι ορισμένα θέματα (λ.χ. η νευτώνεια μηχανική και ο ηλεκτρισμός) συχνά παρουσιάζουν δυσκολία στην κατανόησή τους από τους μαθητές, με συνέπεια οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας να μην είναι αποτελεσματικές. Για να επιτευχθεί η μάθηση σε αυτές τις θεματικές, υποστηρίζεται ότι οι μαθητές πρέπει να καθοδηγηθούν σε μια εννοιολογική αλλαγή. Ωστόσο, η εννοιολογική αλλαγή δεν είναι κατάλληλη για περιοχές μάθησης (λ.χ. η εκμάθηση γεγονότων ή η απόκτηση δεξιοτήτων), όπου οι δυσκολίες που παρουσιάζονται έχουν άλλες αιτίες, όπως ο μεγάλος όγκος δεδομένων ή η πίεση για επίδοση χωρίς λάθη σε σύντομο χρονικό διάστημα (diSessa, 2006).

Ο όρος *εννοιολογική αλλαγή* παρέχει μία πρώτη προσέγγιση του ποια είναι η πρωταρχική δυσκολία κατά τη διαδικασία απόκτησης γνώσης: οι μαθητές πρέπει να κατασκευάσουν νέες ιδέες σχετικά με θέματα για τα οποία έχουν ήδη κάποια γνώση.

Ως εκ τούτου, η μάθηση αποτελεί *αλλαγή*, όχι απλή απόκτηση/μεταφορά γνώσης. Πράγματι, υπάρχουν αρκετά στοιχεία ότι οι προϋπάρχουσες ιδέες περιορίζουν τη μάθηση σε πολλές περιοχές, γι' αυτό πολλές θεωρίες γνωστικής ανάπτυξης αποδίδουν τη δυσκολία σε τέτοιου είδους στοιχεία, όπως *πεποιθήσεις, θεωρίες, οντολογίες και έννοιες*. Ωστόσο, η προσπάθεια για την κατανόηση της εννοιολογικής αλλαγής προϋποθέτει τον ακριβή προσδιορισμό ορισμένων χαρακτηριστικών της, ώστε να επέλθει συμφωνία μεταξύ των ερευνητών του πεδίου. Οι σημαντικότερες έννοιες που είναι αναγκαίο να συζητηθούν είναι η *συνεκτικότητα*, δηλαδή η εσωτερική δομή των ιδεών αυτών, και η *συνέπεια*, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο οι ιδέες αυτές υπαγορεύουν παρόμοιες απαντήσεις σε διαφορετικές συνθήκες. Σε αυτό το πλαίσιο, το εύρημα ότι τα παιδιά συχνά απαντούν με τρόπο διαφορετικό από αυτόν που αναμένεται από το μοντέλο που υποτίθεται ότι κατέχουν, όπως υποστηρίζεται από την άποψη της συνεκτικής γνώσης, ενδεχομένως να μην αποτελεί *θόρυβο*, αλλά ένδειξη κατακερματισμού (diSessa, 2006, 2013).

1.2. Αφελείς θεωρίες

Η έρευνα για την εννοιολογική αλλαγή έχει ιδιαίτερη σημασία στις επιστήμες της Αγωγής, καθώς ασχολείται με ορισμένα από τα βαθύτερα θεωρητικά ερωτήματα αναφορικά με τη Μάθηση (Τι είναι η γνώση; Πότε και γιατί δυσκολεύεται κανείς να την κατακτήσει; Τι είναι η βαθύτερη κατανόηση και πώς μπορεί να επιτευχθεί;). Επιπλέον, δεδομένου ότι είναι γνωστό ότι η μάθηση περιορίζεται σε ορισμένες των περιπτώσεων από την προηγούμενη ασύμβατη γνώση, η αποσαφήνιση της διαδικασίας της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να έχει σημαντικές προεκτάσεις στο επίπεδο της ανάπτυξης αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών και της συνακόλουθης διδακτικής μεθοδολογίας (diSessa, 2006). Στην έρευνα αναφορικά με τις ιδέες των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες, έχει διατυπωθεί πληθώρα όρων, που χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν ότι τα παιδιά έχουν ένα σταθερό τρόπο σκέψης και κατανόησης για κάποιο ζήτημα πριν τη σχολική διδασκαλία, ο οποίος μάλιστα συνήθως αποτελεί και πηγή δυσκολίας για την κατανόηση. Είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί μια επισκόπηση στην έρευνα για την εννοιολογική αλλαγή, καθώς, τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, η διαδικασία αυτή έχει περιγραφεί από πολλούς ερευνητές με διαφορετικούς τρόπους και ορολογίες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συναίνεση στη νοηματοδότησή τους (Taber, 2008).

Ορισμένοι εξ αυτών των όρων είναι: *προϋπάρχουσες αντιλήψεις* (preconceptions) (Novak, 1977), *εναλλακτικές αντιλήψεις* (alternative conceptions) (Driver & Easley, 1978), *παρανοήσεις* (misconceptions) (Helm, 1980), *επιστημονικές διαισθήσεις των παιδιών* (children's scientific intuitions) (Sutton, 1980), *επιστήμη των παιδιών* (children's science) (Gilbert, Watts, & Osborne, 1982), *εναλλακτικά πλαίσια* (alternative frameworks) (Driver & Erickson, 1983), *εναλλακτικές αντιλήψεις* (alternative conceptions) ή *παρανοήσεις* (misconceptions) (Gilbert & Watts, 1983), *έννοιες της κοινής γνώμης* (common-sense concepts) (Halloun & Hestenes, 1985), *αυθόρμητη γνώση* (spontaneous knowledge) (Pines & West, 1986) ή *αφελείς θεωρίες* (naive theories) (Vosniadou & Brewer, 1992).

Επιπλέον, έχει εισαχθεί η διάκριση μεταξύ των όρων *προϋπάρχουσες αντιλήψεις* (preconceptions) και *παρανοήσεις* (misconceptions). Ο όρος *προϋπάρχουσες αντιλήψεις* υποδηλώνει ότι τα παιδιά πριν την τυπική διδασκαλία έχουν κατασκευάσει αρχικές, ελλειπείς και αφελείς αντιλήψεις για μια έννοια. Σε αυτό το πλαίσιο, η εκπαιδευτική

διαδικασία καλείται να διορθώσει τις αρχικές αντιλήψεις πριν προχωρήσει στη διδασκαλία πιο σύνθετων εννοιών. Ο όρος *παρανοήσεις* χρησιμοποιείται για να περιγράψει αντιλήψεις αντίθετες με τις επιστημονικές θεωρίες που κατασκευάζονται από τα παιδιά μέσω της εσφαλμένης ερμηνείας των επιστημονικών πληροφοριών. Η πρόκληση για την εκπαίδευση είναι να εντοπιστεί ο τρόπος με τον οποίο θα παρουσιαστούν οι επιστημονικές πληροφορίες, ώστε να μειωθεί το περιθώριο παρερμηνείας (Eryilmaz, 2002; Kuiper, 1994; McClelland, 1985). Αντίστοιχα, ο όρος *εναλλακτικές αντιλήψεις* υποδηλώνει ότι οι μαθητές έχουν συγκεράσει τις επιστημονικές πληροφορίες και την εμπειρία τους με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν κατασκευάσει μία προσωπική θεωρία που αντιτίθεται στην επιστημονική. Στο επίπεδο της διδασκαλίας, αυτή θα πρέπει να αμφισβητηθεί με λογικά επιχειρήματα, ώστε να καταστεί εύλογη για την καθημερινή εμπειρία των μαθητών. Ο όρος *ιδέες των παιδιών* θεωρείται περισσότερο ουδέτερος, καθώς δεν συνυποδηλώνει πληροφορίες για τη φύση της κατανόησης των παιδιών (Kuiper, 1994).

Τα πολύπλοκα ερωτήματα που πραγματεύεται το συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο καθιστούν δυσκολότερη την επιστημονική συναίνεση, ενώ η εμπλοκή πολλών επιστημών έχει παραγάγει πληθώρα θεωρητικών προσανατολισμών, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν καλά εδραιωμένες και κοινώς αποδεκτές θεωρίες εννοιολογικής αλλαγής. Οι πολυπληθείς προσπάθειες για εμπειρική τεκμηρίωση των θεωρητικών προσεγγίσεων κατέληξαν σε εκ διαμέτρου αντίθετα συμπεράσματα ως προς τη φύση και τη δομή των αρχικών ιδεών των παιδιών, με αποτέλεσμα να προτείνονται ασύμβατες διδακτικές προτάσεις για την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης. Ωστόσο, μολονότι η σχετική έρευνα μετρά ήδη τέσσερις δεκαετίες, δεν υπάρχει επιστημονική συναίνεση ούτε στο επίπεδο ορισμού των εννοιών. Το φαινόμενο αυτό, σε συνάρτηση με την περιορισμένη αξιοποίηση σύγχρονων μεθοδολογικών εργαλείων, δυσχεραίνει την κατανόηση της διαδικασίας εννοιολογικής αλλαγής (diSessa, 2006, 2013).

1.3. Θεωρίες εννοιολογικής αλλαγής: Μια επισκόπηση

Ο τρόπος με τον οποίο τα παιδιά κατανοούν τις επιστημονικές έννοιες και τις εφαρμόζουν στην καθημερινή ζωή, καθώς επίσης και η διαδικασία μεταβολής της γνωστικής τους δομής, έχουν αποτελέσει κρίσιμα και διαχρονικά ερευνητικά ερωτήματα τόσο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών όσο και για τη Γνωστική Ψυχολογία. Ως αποτέλεσμα πολυάριθμων ερευνών, προτάθηκαν δύο κυρίαρχες ανταγωνιστικές θεωρητικές προτάσεις αναφορικά με τη συνεκτικότητα των γνώσεων των μαθητών πριν την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης. Οι προοπτικές αυτές διαφέρουν ως προς τα μεθοδολογικά μέσα που αξιοποιούν και ως προς τον τρόπο που αντιλαμβάνονται την ίδια την έρευνα στα θέματα αυτά (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007; Taber, 2008).

Η πρώτη προσέγγιση αντιλαμβάνεται τις προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών ως γνωστικές δομές *συνεκτικές* και σταθερές και τις χαρακτηρίζει ως *παρόμοιες με θεωρία* (theory-like). Σύμφωνα με αυτή την οπτική, οι μαθητές με το πέρασμα των ετών οικοδομούν εννοιολογικές δομές, που σχηματίζουν μια *θεωρία πλαισίου* (framework theory). Το σημαντικότερο στοιχείο της θεωρίας πλαισίου είναι ότι έχει επεξηγηματική ισχύ, καθώς αξιοποιείται με συνέπεια στην προσπάθεια ερμηνείας μίας ποικιλίας φαινομένων. Αυτές οι δομές χαρακτηρίζονται ρητά ως *συνεκτικά νοητικά μοντέλα*

(coherent mental models) (Chi, 1992; Vosniadou & Brewer, 1992, 1994). Ασφαλώς ο όρος *θεωρία* δεν υποδηλώνει ότι η γνώση των παιδιών προσομοιάζει επί της ουσίας με τη δομημένη και διαψεύσιμη (κατά την ορολογία του Kuhn) επιστημονική Θεωρία, εφόσον τα παιδιά δεν έχουν επίγνωση αυτής ούτε την αξιοποιούν για τον έλεγχο συγκεκριμένων υποθέσεων. Πρόκειται για μία γενικότερη νοητική δομή, η οποία κατέχει ορισμένες ιδιότητες των επιστημονικών θεωριών και βοηθάει τους μαθητές να εξηγήσουν τα φαινόμενα που παρατηρούν ή να απαντήσουν στα νοητικά προβλήματα που τους τίθενται (Chi, 2005; Ioannides & Vosniadou, 2002; Özdemir & Clark, 2007; Wellman & Gelman, 1992).

Η εναλλακτική προοπτική υποστηρίζει πως οι αντιλήψεις των μαθητών για τα φυσικά και χημικά φαινόμενα, μέχρι αυτοί να κατακτήσουν την επιστημονική γνώση, δεν είναι συνεκτικές και σταθερές, αλλά, αντιθέτως, αποτελούνται από τμήματα γνώσης που οργανώνονται κατ' απαίτηση όποτε υπάρχει κάποια νοητική δοκιμασία. Οι υπέρμαχοι αυτής της θέσης χαρακτηρίζουν τις προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών ως *γνώση σε κομμάτια* (knowledge in pieces) ή *κατακερματισμένη γνώση* (fragmented knowledge) (diSessa, 1993; diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004). Όπως και παραπάνω, δεν θα πρέπει να παρερμηνευτεί ότι πρόκειται για μια υπεραπλουστευμένη προσέγγιση της γνώσης των μαθητών ως μίας τυχαίας αλληλεπίδρασης ανεξάρτητων γνωστικών στοιχείων. Στην πραγματικότητα, η υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης αντιμετωπίζει τις προϋπάρχουσες ιδέες ως ένα σύνολο ημιανεξάρτητων στοιχείων, τα συνδυάζονται από το παιδί με διάφορους τρόπους κάθε φορά, ώστε να δώσει κάποια απάντηση στην εκάστοτε ερώτηση (Clark, 2006; diSessa et al., 2004; Harrison, Grayson, & Treagust, 1999; Özdemir & Clark, 2007).

Σε μία τρίτη πρόταση, άλλοι ερευνητές (Taber, 2008; Taber & García-Franco, 2010) ισχυρίστηκαν πως αυτές οι δύο φαινομενικά ανταγωνιστικές προσεγγίσεις δεν είναι κατ' ανάγκη ασυμβίβαστες και ότι οι αποδείξεις που στηρίζουν τη μία ή την άλλη προοπτική προκύπτουν απλώς από τον τρόπο ερμηνείας των εμπειρικών δεδομένων από τον ερευνητή (Özdemir & Clark, 2007).

1.3.1. Προσεγγίσεις της συνεκτικής γνώσης

Η θεωρία μάθησης του Piaget έχει επηρεάσει πολλούς ερευνητές της προσέγγισης της συνεκτικής γνώσης. Για να εξηγήσουν την εννοιολογική αλλαγή, οι υποστηρικτές της (Carey, 1985, 1999) συχνά χρησιμοποιούν αναλογίες μεταξύ της πιαζετιανής *αφομοίωσης* και *συμμόρφωσης* με τις έννοιες της *επιστήμης* και της *επιστημονικής επανάστασης* (Kuhn, 1962). Ορισμένοι ερευνητές εξήγησαν την εννοιολογική αλλαγή με όρους νοητικών μοντέλων και θεωρίας πλαισίου (Vosniadou, 1994; Vosniadou & Brewer, 1992), ενώ άλλοι εστίασαν σε οντολογικές μεταβολές υψηλότερου επιπέδου (Chi, 1992).

Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα παιδιά μπορούν να οικοδομήσουν εναλλακτικά επεξηγηματικά σχήματα που είναι *παρόμοια με θεωρία* (theory-like), δηλαδή χαρακτηρίζονται από συνέπεια και συνεκτικότητα, ενώ εφαρμόζονται σε μια σειρά από διαφορετικές περιστάσεις για μεγάλες χρονικές περιόδους (De Posada, 1997; Driver & Easley, 1978; Taber, 1995, 2000; Tytler, 1998; Vosniadou, 1992). Ήδη από πολύ νωρίς στη σχετική έρευνα έχουν αναδειχθεί αφενός η επίμονη φύση των εναλλακτικών πλαισίων κι αφετέρου το ότι αυτά είναι ευλογοφανή από την οπτική των παιδιών (Gilbert, Osborne, & Fensham, 1982; Gilbert & Watts, 1983; Gilbert, Watts, et al., 1982; Pope & Gilbert, 1983; Watts, 1983b, 1983a; Watts & Gilbert, 1983). Άλλοι

συγγραφείς θεωρούν ότι η σκέψη των μαθητών είναι ασυνεπής και κατακερματισμένη, ότι οι απαντήσεις μπορούν να μεταβάλλονται εξ αιτίας του πλαισίου εντός του οποίου τίθεται η ερώτηση (Boujaoude, 1991; diSessa, 1993; Hennessy, 1993; Kuiper, 1994; Linder, 1993; Viennot, 1979), ενώ τυχόν συστηματικότητα είναι δυνατό να αποδοθεί στην κοινωνική πίεση από τις ερωτήσεις που θέτει ο ερευνητής (Solomon, 1993).

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθεί μια επισκόπηση των σημαντικότερων ρευμάτων στην έρευνα της συνεκτικής γνώσης (Özdemir & Clark, 2007).

Η εννοιολογική αλλαγή με όρους Αφομοίωσης και Συμμόρφωσης

Ο Piaget συγκαταλέγεται μεταξύ των ερευνητών που έχουν ασκήσει ισχυρή επιρροή στην έρευνα για την εννοιολογική αλλαγή, καθώς εκείνος εισήγαγε ουσιαστικά την κεντρική ιδέα του εποικοδομισμού. Οι εργασίες του ήταν αντίθετες με παλαιότερες θεωρητικές προσεγγίσεις που αντιμετώπιζαν την γνώση μονόπλευρα, όπως ο εμπειρισμός, που θεωρούσε τη γνώση ως το αποτέλεσμα των εμπειριών του ατόμου, και ο ορθολογισμός, για τον οποίο η γνώση είναι το προϊόν μιας αυστηρής διαδικασίας σκέψης, ανεξάρτητης από την εμπειρία του ατόμου. Ο Piaget ανήγαγε την *εξισορρόπηση* ως το βασικό μηχανισμό επεξεργασίας πληροφοριών και απόκτησης νέας γνώσης. Σύμφωνα με την άποψή του, σε ορισμένες περιπτώσεις οι νέες εμπειρίες έρχονται σε αντίθεση με την υπάρχουσα γνώση, προκαλώντας ανισορροπία στο γνωστικό σύστημα. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάγκη για αποκατάσταση της ισορροπίας οδηγεί τους μαθητές προς περισσότερο προηγμένη σκέψη και τροποποίηση της γνωστικής δομής. Παράλληλα, υποστήριξε ότι τα παιδιά δεν αποτελούν μικρογραφία των ενηλίκων, αλλά σκέπτονται με διαφορετικούς τρόπους. Μάλιστα επισήμανε ότι η διαδικασία οργάνωσης των νέων γνώσεων και τρόπων σκέψης επηρεάζεται σημαντικά από τις υπάρχουσες. Οι θέσεις αυτές αποτελούν το θεμέλιο λίθο για την ανάδειξη της ανάγκης διερεύνησης της εννοιολογικής αλλαγής (diSessa, 2006).

Μολονότι η πιαζετιανή έννοια της *συμμόρφωσης* δεν είναι πλέον τόσο δημοφιλής, υπάρχουν ορισμένες σύγχρονες τροποποιήσεις της που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία και εστιάζονται στις αφελείς θεωρίες των παιδιών σε βιολογικές έννοιες (Inagaki & Hatano, 2002). Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, υποστηρίζεται ότι τα παιδιά, πριν ακόμη από την επίσημη σχολική διδασκαλία, κατέχουν ένα αρκετά ανεπτυγμένο σώμα γνώσης. Αυτή η αφελής γνώση οργανώνεται μέσω της καθημερινής εμπειρίας κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής του παιδιού και τους επιτρέπει να προβλέπουν και να εξηγούν με συνέπεια τα βιολογικά φαινόμενα. Η συνεκτικότητα αυτής της δομής θεωρείται ότι διαταράσσεται, όταν ο μαθητής έρχεται σε επαφή με νέες ιδέες, οι οποίες επιβάλλουν το μετασχηματισμό της προς την κατεύθυνση της επιστημονικής γνώσης. Η εννοιολογική αλλαγή είναι το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, που καταλήγει στην αποκατάσταση της συνοχής της γνωστικής δομής του (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007).

Η εννοιολογική αλλαγή με όρους Ορθολογισμού

Σημαντική μεταβολή στη διερεύνηση της εννοιολογικής αλλαγής πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή των ορθολογικών μοντέλων. Η προοπτική αυτή υποστηρίζει ότι οι μαθητές, κατ' αντιστοιχία με τους επιστήμονες, διατηρούν τις τρέχουσες ιδέες μέχρι να υπάρχουν ορθολογικές, δηλαδή σοβαρές, αιτίες για να τις εγκαταλείψουν.

Στο πλαίσιο του ορθολογισμού, εάν η υπάρχουσα αντίληψη αναφορικά με κάποια έννοια είναι λειτουργική και επιτρέπει τη διατύπωση εξηγήσεων και την επίλυση προβλημάτων, τότε το άτομο είναι ευχαριστημένο με αυτή και δεν έχει την ανάγκη να τη μεταβάλει. Ακόμη όμως κι αν δεν είναι πλήρως αποτελεσματική σε ορισμένες περιπτώσεις, το άτομο θα προτιμήσει να προχωρήσει σε μετριοπαθείς αλλαγές στις αντιλήψεις του (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982).

Κατά τη διαδικασία της *μερικής αναδόμησης* (weak restructuring) (Carey, 1985), η αφομοίωση προχωράει κανονικά, χωρίς την ανάγκη για συμμόρφωση. Ως εκ τούτου, για να επιτευχθεί η εννοιολογική αλλαγή, ο μαθητής πρέπει να είναι δυσαρεστημένος με τις αρχικές του ιδέες. Όταν υπάρχει μία τέτοια κατάσταση, το άτομο απορρίπτει τις υπάρχουσες αντιλήψεις και αποδέχεται την επιστημονική άποψη, σε μία ολοκληρωτική διαδικασία αντικατάστασης, που αποκαλείται *ριζοσπαστική αναδόμηση* (radical restructuring) (Carey, 1985). Η διδασκαλία μπορεί να οδηγήσει στην εννοιολογική αλλαγή όταν παρουσιάζει την επιστημονική θεωρία με τρόπο α) *κατανοητό*, β) *πειστικό*, κάνοντάς τη να φαίνεται ως λογική αλήθεια, και γ) *εποικοδομητικό*, ως χρήσιμη γνώση που βοηθάει στην επίλυση προβλημάτων στο παρόν και στο μέλλον (Posner et al., 1982).

Η γνωστική ανάπτυξη μπορεί να διερευνηθεί πληρέστερα, εφόσον καταστεί σαφής ο τρόπος με τον οποίο τα υπάρχοντα στοιχεία στη γνωστική δομή ενός ατόμου αλληλεπιδρούν μεταξύ του και με την εμπειρία (Strike & Posner, 1992). Η εξήγηση των ορθολογικών μοντέλων για την εννοιολογική αλλαγή ενσωματώνεται σε μία οπτική *εννοιολογικής οικολογίας* (conceptual ecology), αποτελούμενη από τις αντιλήψεις και τις επιστημολογικές πεποιθήσεις του ατόμου, τις αναλογίες και μεταφορές που αξιοποιεί, τα πρότυπα προς μίμηση, τις εμπειρίες, τις μεταφυσικές πεποιθήσεις και τις γνώσεις που κατέχει σε άλλα πεδία. Σε μία τέτοια προοπτική, είναι αναπόφευκτο οι υπάρχουσες ιδέες και τα υπάρχοντα επιστημολογικά σχήματα να επηρεάζουν την αλληλεπίδραση με νέες ιδέες, επιδρώντας άμεσα και στη μάθηση, ενώ οι παρανοήσεις δεν είναι απλώς ανακριβείς πεποιθήσεις, αλλά οργανώνουν και περιορίζουν τη μάθηση με τρόπο παρόμοιο με τα επιστημονικά Παραδείγματα. Ως εκ τούτου, οι προϋπάρχουσες αντιλήψεις αντιστέκονται στην αλλαγή, διότι, στο πλαίσιο της εννοιολογικής οικολογίας, οι έννοιες δεν είναι ανεξάρτητες ούτε μεταξύ τους ούτε από τα γνωστικά αποτελέσματα, με συνέπεια η αναθεώρηση ορισμένων εξ αυτών να απαιτεί αναθεώρηση και στις υπόλοιπες. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, ως διδακτικός σκοπός ορίζεται η δημιουργία *συνθηκών γνωστικής σύγκρουσης*, ώστε να προκληθεί δυσαρέσκεια στον μαθητή από τις υπάρχουσες ιδέες του. Η θεωρητική κατασκευή της εννοιολογικής οικολογίας, βασισμένη στην *πιαζετιανή προσέγγιση*, έχει ασκήσει μεγάλη επίδραση στο πεδίο, τόσο στους υποστηρικτές της συνεκτικής γνώσης όσο και στους υποστηρικτές της κατακερματισμένης γνώσης (Duit & Treagust, 2003; Özdemir & Clark, 2007).

Η εννοιολογική αλλαγή ως σταδιακός μετασχηματισμός των αφελών θεωριών

Η Susan Carey απομακρύνθηκε από την αντιμετώπιση της εννοιολογικής αλλαγής ως στιγμιαίας διαδικασίας *καθολικής αναδόμησης* και υποστήριξε ότι η εννοιολογική αλλαγή θα πρέπει να μελετάται ως *πλήθος αναδομήσεων* που καταλήγει σε έναν σταδιακό μετασχηματισμό των αφελών θεωριών προς την επιστημονικά αποδεκτή γνώση. Στις εργασίες της (Carey, 1985, 1991, 1999; Carey & Smith, 1993), αναγνωρίζει ότι οι έννοιες και οι πεποιθήσεις αποτελούν πρωταρχικά στοιχεία της διαισθητικής γνώσης, αλλά επιπλέον εξέφρασε την άποψη ότι οι πεποιθήσεις στην

πραγματικότητα προσδιορίζουν τις σχέσεις που διέπουν τις έννοιες. Ισχυρίστηκε μάλιστα ότι η μεταβολή των εννοιών είναι δυσκολότερη από τη μεταβολή των σχέσεων που εκφράζονται μέσω των πεποιθήσεων, διότι οι διαισθητικές θεωρίες λειτουργούν περιοριστικά για τις έννοιες. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, τα παιδιά ανακατασκευάζουν τις αφελείς θεωρητικές δομές τους μέσω της καθημερινής εμπειρίας, της κοινωνικής αλληλεπίδρασης ή και της άμεσης ενσωμάτωσης νέων γνώσεων για συγκεκριμένους τομείς. Με τη συνέργεια μάλιστα της ανάπτυξης των λογικών δομών του παιδιού, οι προϋπάρχουσες ιδέες αντικαθίστανται με την επιστημονική γνώση. Ως εκ τούτου, η εννοιολογική αλλαγή είναι μια σταδιακή διαδικασία, που προκύπτει στο επίπεδο των ατομικών εννοιών (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007).

Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση από την πλευρά της γνώσης ως θεωρία, που επανέρχεται συστηματικά στο προσκήνιο σε επίπεδο επιχειρημάτων, αποτελεί η παραδοχή ότι η σκέψη των παιδιών είναι συνεκτική σε βαθμό ανάλογο με μια επιστημονική θεωρία, μολονότι σπάνια υφίσταται οποιαδήποτε ομοιότητα περιεχομένου ή διαδικασίας μεταξύ τους. Γνωστή υποστηρίκτρια αυτής της θέσης ήταν η Carey. Η Alison Gopnik (Gopnik, 1983, 1996; Gopnik & Wellman, 1994) υπήρξε επίσης ένθερμη υπέρμαχος της γνώσης ως θεωρία, με σχετική έμφαση στη *θεωρία του νου*. Η ίδια ενστερνιζόταν την ύπαρξη ισχυρών ομοιοτήτων μεταξύ της αλλαγής των επιστημονικών θεωριών και της γνωστικής ανάπτυξης των παιδιών, καθώς υποστήριζε ότι το βασικό γνωστικό υπόβαθρο είναι το ίδιο: συνεκτικά συστήματα αφηρημένων εννοιολογικών κατασκευών, που παρέχουν ερμηνείες και τη δυνατότητα προβλέψεων, τα οποία αλλάζουν όταν παρουσιάζονται στοιχεία που αντιτίθενται σε αυτά. Στη σύγχρονη έρευνα της εννοιολογικής αλλαγής, ωστόσο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι ομοιότητες της αφελούς θεωρίας με την επιστημονική είναι περιορισμένες, κυρίως λόγω των στρατηγικών που αξιοποιούνται και των ελλειπών μεταγνωστικών δεξιοτήτων των παιδιών (Vosniadou, 2002).

Η εννοιολογική αλλαγή ως οντολογική μεταβολή

Η Chi έχει προτείνει μία υπόθεση όπου οι έννοιες αντιμετωπίζονται ως οντότητες και, κατά συνέπεια, κεντρικό ρόλο στη διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής διαδραματίζουν οι οντολογικές μεταβολές. Υποστηρίζει δηλαδή ότι συχνά έννοιες που αποτελούν διαδικασίες (π.χ. το φως), κατηγοριοποιούνται εσφαλμένα στην οντολογική κατηγορία των υλικών σωμάτων, λόγω της καθημερινής εμπειρίας των παιδιών (Chi, Slotta, & De Leeuw, 1994). Σε αυτό το πλαίσιο, θεωρείται ότι η αντίσταση στην εννοιολογική αλλαγή προκαλείται είτε επειδή το παιδί τοποθετεί την εκάστοτε έννοια σε κάποια διαφορετική οντολογική κατηγορία από την επιστημονική είτε διότι δεν υπάρχει στη γνωστική του δομή καμία κατάλληλη οντολογική κατηγορία για να την τοποθετήσει (Chi, 2008, 2013). Εάν οι εναλλακτικές ιδέες έχουν τοποθετηθεί στην ίδια οντολογική κατηγορία με την επιστημονική θεωρία, η εννοιολογική αλλαγή είναι σημαντικά ευκολότερη από την περίπτωση που απαιτείται η κατασκευή νέων οντολογικών σχημάτων (Chi et al., 1994). Ως εκ τούτου, για την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής, πρέπει να προηγείται η ανάπτυξη της νέας οντολογίας, ώστε οι έννοιες να μπορούν να ενταχθούν σε αυτή. Εφόσον οι μαθητές αναγνωρίσουν τους οντολογικούς τους περιορισμούς, θα είναι σε θέση να κατανοήσουν τους λόγους για τους οποίους η επιστημονική θεωρία είναι ασύμβατη με την υπάρχουσα γνωστική τους δομή (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007).

Παρόμοια θέση αναφορικά με τις οντολογικές μεταβολές εξέφρασε και ο Thagard. Η σημαντική του διαφοροποίηση ήταν ότι εξέτασε την εννοιολογική αλλαγή

ως ένα συνεχές, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ της απλής προσθήκης ορισμένων στοιχείων (μερική αλλαγή) έως την οντολογική (πλήρη) μεταβολή (Thagard, 1992).

Η έρευνα σχετικά με τα Νοητικά Μοντέλα και τις Θεωρίες Πλαισίου

Ο όρος *θεωρία πλαισίου* (framework theory) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Wellman, 1990; Wellman & Gelman, 1992) και αναφέρεται σε μία αφηρημένη γνωστική δομή που περιγράφει την οντολογία και τις βασικές αιτιακές σχέσεις σε έναν ευρύτερο τομέα γνώσης, όπου εφαρμόζονται διάφορες *ειδικές θεωρίες* (specific theories).

Η Vosniadou με τους συνεργάτες της είναι μεταξύ των ερευνητών που έχουν ιδιαίτερη συμβολή στο σχετικό πεδίο, ιδιαίτερα με την ερμηνεία της για τις θεωρίες πλαισίου των παιδιών (Vosniadou, 1994; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou & Ioannides, 1998). Η θέση τους είναι ότι οι θεωρίες πλαισίου που κατέχουν τα παιδιά προκαλούν περιορισμούς στην κατανόηση των εννοιών και υπαγορεύουν ένα συγκεκριμένο αριθμό μοντέλων που μπορούν να δημιουργήσουν, όταν δέχονται ερωτήσεις σχετικά με κάποιο ζήτημα. Τα μοντέλα αυτά είναι δυναμικά, οπότε δεν αναμένεται να είναι σταθερά και μόνιμα, ενώ χαρακτηρίζονται από επεξηγηματική ισχύ. Ως εκ τούτου, σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, θα επιβάλουν συνεπείς απαντήσεις. Η επεξηγηματική ισχύς της θεωρίας πλαισίου στη φυσική προέρχεται από τις οντολογικές και επιστημολογικές προϋποθέσεις της, καθώς και από την αιτιώδη δομή της. Σε αντίθεση με τα νοητικά μοντέλα, που μπορούν να αλλάξουν σχετικά εύκολα, η αλλαγή των θεωριών πλαισίου, όταν εισάγονται οι επιστημονικές έννοιες, χρειάζεται πολύ χρόνο. Η μάθηση της επιστήμης απαιτεί εννοιολογική αλλαγή, ακριβώς επειδή αντιφάσκει με τη θεωρία πλαισίου της φυσικής (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007; Straatemeier, van der Maas, & Jansen, 2008; Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Οι Vosniadou και Ioannides (1998) διερευνούν τις αλλαγές που προκύπτουν στη γνωστική δομή είτε αυθόρμητα είτε λόγω της διδασκαλίας. Μια αυθόρμητη αλλαγή επέρχεται χωρίς συγκεκριμένη διδασκαλία, μέσω του εμπλουτισμού των παρατηρήσεων ή με άλλους τρόπους, όπως η εκμάθηση της γλώσσας. Στον αντίποδα, η αλλαγή που βασίζεται στη διδασκαλία εστιάζεται κυρίως στην εξέλιξη των νοητικών μοντέλων των παιδιών με την απευθείας διδασκαλία της επίσημης επιστημονικής θεώρησης των φαινομένων. Σε αυτή τη θεωρητική προσέγγιση, υποστηρίζεται ότι οι *συγκεκριμένες θεωρίες* περιορίζονται από μια *αφελή θεωρία πλαισίου*. Ως εκ τούτου, η εννοιολογική αλλαγή δεν αντιμετωπίζεται ως μια στιγμιαία μετατόπιση από μια θεωρία σε κάποια άλλη, αλλά ως μια βαθμιαία διαδικασία επανερμηνείας των δεδομένων, που επιτυγχάνονται είτε μέσω εμπλουτισμού είτε μέσω αναθεώρησης. Η εννοιολογική αναθεώρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί στο επίπεδο της συγκεκριμένης θεωρίας ή στο επίπεδο της θεωρίας πλαισίου, με το δεύτερο τύπο να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αντιστάσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα δημιουργίας παρανοήσεων, οι οποίες θεωρούνται ως προσπάθειες των παιδιών να ερμηνεύουν επιστημονικές πληροφορίες μέσα σε μια υπάρχουσα θεωρία πλαισίου αντίθετη προς την επιστημονική άποψη. Αυτή η αντίληψη περί της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να εξηγήσει τόσο την αντίσταση στην απόκτηση επιστημονικών εννοιών όσο και το σχηματισμό συνθετικών νοητικών μοντέλων (Vosniadou, 1994).

Ουσιαστικά, υποστηρίζεται ότι πριν οποιαδήποτε διδασκαλία, τα παιδιά έχουν ήδη σχηματίσει ασυναίσθητα μέσω της εμπειρίας *αρχικά νοητικά μοντέλα* (initial mental models), ενώ, όταν έρθει η ώρα της τυπικής διδασκαλίας, δυσκολεύονται να κατανοήσουν πλήρως την επιστημονική προσέγγιση, εξαιτίας των οντολογικών και

επιστημολογικών περιορισμών που επιβάλλονται από τη θεωρία πλαισίου. Το αποτέλεσμα είναι η κατασκευή παρανοήσεων και *συνθετικών νοητικών μοντέλων* (synthetic mental models), ασύμβατων ως προς την επιστημονική άποψη. Τα μοντέλα αυτά είναι δυναμικά και εξαρτώνται από το πλαίσιο της ερώτησης, ωστόσο θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από εσωτερική συνέπεια και να έχουν επεξηγηματική ισχύ. Υποστηρίζεται ότι, σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, τα παιδιά κατέχουν μόνο ένα μοντέλο για το εκάστοτε θέμα και η ανίχνευσή του, που πραγματοποιείται όταν τους ζητείται να παραγάγουν μία επαγωγική απάντηση, υποδηλώνει τη σύνθεση της επιστημονικής θεωρίας με τις αρχικές τους ιδέες. Αυτές οι διαισθήσεις θεωρούνται εξαιρετικά ισχυρές, καθώς, παρά τη συχνή έκθεση σε επιστημονικές πληροφορίες, τα παιδιά είναι σε θέση να δίνουν σταθερά επιστημονικές απαντήσεις στις ερωτήσεις των ερευνητών προς το τέλος της παιδικής ηλικίας. Με το πέρασμα του χρόνου, οι περιορισμοί της θεωρίας πλαισίου χρειάζεται να αναθεωρηθούν και τελικά να αντικατασταθούν με το επιστημονικό μοντέλο. Αυτός ο τρόπος ανάπτυξης των συνθετικών μοντέλων αποκαλύπτει ότι, για να πραγματοποιηθεί η πλήρης αναδόμηση της θεωρίας πλαισίου των μαθητών, θα πρέπει σταδιακά να προηγηθούν σημαντικές αλλαγές στα επίπεδα της επιστημολογίας, της οντολογίας και της αναπαράστασης (Özdemir & Clark, 2007; Panagiotaki, Nobes, & Banerjee, 2006a; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou & Skopeliti, 2014; Vosniadou, Skopeliti, & Ikospentaki, 2004).

Ο Michael McCloskey προχώρησε σε μια σειρά μελετών (McCloskey, 1983a, 1983b), που είχαν εξαιρετικά μεγάλη επιρροή στο πεδίο των παρανοήσεων. Υποστήριξε ότι οι μαθητές, πριν την τυπική διδασκαλία, κατέχουν μια εντυπωσιακά συνεπή και αρθρωμένη αφελή θεωρία, η οποία ανταγωνίζεται άμεσα με τη νευτώνεια φυσική κατά τη διδασκαλία. Στις εργασίες του συσχέτισε εννοιολογικά αυτές τις αφελείς ιδέες των παιδιών με την αντίληψη των επιστημόνων για τον κόσμο κατά το Μεσαίωνα. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η άποψή του δεν έχει θεωρητικά ή φιλοσοφικά ερείσματα, αλλά υποστηρίζεται μόνο από την εμπειρική του παρατήρηση (diSessa, 2006). Παράλληλα, σε αντίθεση με την κυρίαρχη άποψη για τις παρανοήσεις, ο Minstrell αντιμετώπισε τις διαισθητικές αντιλήψεις ως πόρους κι όχι ως εμπόδια για την εννοιολογική αλλαγή στη φυσική. Περιέγραψε διαισθητικές ιδέες ως θέματα που, αντί να απορριφθούν, απαιτούν ανασύνταξη μέσω της εκπαίδευσης σε μία ισχυρότερη και περισσότερο κανονιστική εννοιολογική δομή (Hunt & Minstrell, 1994; Minstrell, 1982, 1989).

Η σημαντικότερη ίσως διαφορά μεταξύ της κλασικής προσέγγισης της γνώσης ως θεωρία και της θεωρίας πλαισίου είναι ότι δεν αντιμετωπίζει τις εναλλακτικές ιδέες ως ενιαίες λανθασμένες αντιλήψεις που πρέπει να αντικατασταθούν. Η ίδια η έννοια του λάθους μεταβάλλεται, καθώς οι ιδέες αυτές δεν αποτελούν παρά το απολύτως αιτιολογημένο αποτέλεσμα της καθημερινής εμπειρίας και της επίδρασης της κουλτούρας στις αντιλήψεις των παιδιών για τον φυσικό κόσμο, ενώ οι αρχικές ιδέες διακρίνονται από τα συνθετικά μοντέλα, που δομούνται στην προσπάθεια των μαθητών να συμφιλιώσουν την επιστημονική γνώση με τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό κατά τη διδασκαλία να εστιάζεται η προσοχή στην επίγνωση των διαφορετικών ερμηνειών ενός φαινομένου, ώστε να γίνει εμφανές στο παιδί ότι ορισμένες εξ αυτών έχουν μεγαλύτερη επεξηγηματική ισχύ (Vosniadou, 2013; Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Σύνοψη και σύνθεση των προοπτικών της συνεκτικής γνώσης

Συμπερασματικά, οι ερευνητές της προσέγγισης περί συνεκτικότητας της γνώσης υποστηρίζουν ότι οι αφελείς γνώσεις των μαθητών, εκείνες δηλαδή που προηγούνται της διδασκαλίας, είναι συνεκτικές και βασισμένες σε οντολογικούς και επιστημολογικούς περιορισμούς. Επειδή τα παιδιά αναπτύσσουν αυτές τις συνεπείς δομές μέσω της συλλογής των καθημερινών εμπειριών, οι «θεωρίες» τους δεν είναι κατάλληλες για τον έλεγχο υποθέσεων, με τον τρόπο που λειτουργούν οι επιστημονικές Θεωρίες. Παρά ταύτα, οι εναλλακτικές αντιλήψεις περιορίζουν την μελλοντική μάθηση και επιτρέπουν στους φέροντες αυτές να κάνουν συνεπείς προβλέψεις σε διάφορους εννοιολογικούς τομείς. Οι υποστηρικτές της προοπτικής της συνεκτικής γνώσης υποθέτουν ότι υπάρχει κάποια ριζική αλλαγή στις γνωστικές δομές μέσω διάφορων μηχανισμών, η οποία ωστόσο δεν επέρχεται ξαφνικά. Αντιθέτως, είναι το αποτέλεσμα σταδιακών και χρονοβόρων διαδικασιών, διότι οι μαθητές θα πρέπει να αναθεωρήσουν και να αναδομήσουν ένα ολόκληρο δίκτυο πεποιθήσεων και περιορισμών για την επίτευξή της. Ορισμένοι προσδιορίζουν ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι σύμφωνη με τους πιαζετιανούς όρους συμμόρφωση και αφομοίωση ή την έννοια του Kuhn σχετικά με την αλλαγή Παραδείγματος. Άλλοι υποστήριξαν ότι προκύπτει μέσα από οντολογικές μεταβολές και τη δημιουργία νοητικών μοντέλων. Μολονότι αυτές οι προτάσεις έχουν γίνει στο πλαίσιο διαφορετικών τομέων, όπως η Δύναμη και η κίνηση (McCloskey, 1983b), η αστρονομία (Samarapungavan, Vosniadou, & Brewer, 1996; Vosniadou & Brewer, 1992, 1994), η βιολογία (Carey, 1999) και η θερμότητα και θερμοκρασία (Wiser & Carey, 1983), όλες υποδηλώνουν ότι οι μαθητές σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή διατηρούν ένα μικρό αριθμό συνεκτικών αφελών θεωριών που βασίζονται στην καθημερινή τους εμπειρία και έχουν την επεξηγηματική ισχύ που απαιτείται ώστε να οδηγήσουν σε συνεπείς προβλέψεις και εξηγήσεις. Στο πλαίσιο αυτό ο ρόλος της διδασκαλίας είναι να καθοδηγεί τους μαθητές με τον κατάλληλο τρόπο, ώστε με την προσθήκη στοιχείων της επιστημονικής προοπτικής να δημιουργήσουν ευρύτερες νοητικές δομές με μεγαλύτερη επεξηγηματική ισχύ, επανεξετάζοντας σταδιακά με αυτό τον τρόπο το αρχικό τους εννοιολογικό σύστημα (Özdemir & Clark, 2007).

Ήδη από τη δεκαετία του 1980, έχουν διατυπωθεί σοβαρές θεωρητικές επιφυλάξεις αναφορικά με την ύπαρξη συνεκτικών εναλλακτικών θεωριών των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, έχει υποστηριχθεί ότι το να αντιμετωπίζεται η σκέψη των παιδιών όπως η επιστημονική, είναι μία θεωρητική επιλογή που δεν επιτρέπει εντέλει την κατάλληλη διερεύνησή της, καθώς οι διαφορές μεταξύ της γνώσης των παιδιών και της επιστημονικής είναι στην πραγματικότητα κατηγορικές κι όχι απλώς αποκλίσεις στο βαθμό κατανόησης. Παράλληλα, αναφέρεται ότι σπάνια τα παιδιά επιδεικνύουν τόσο σαφές ενδιαφέρον για κάποιο φυσικό φαινόμενο ώστε να αφιερώσουν επαρκείς γνωστικούς πόρους στην κατανόησή του, προσπάθεια η οποία μπορούσε να οδηγήσει στην κατασκευή συνεκτικών νοητικών σχημάτων. Επιπλέον, θεωρείται ότι απαντήσεις τους στα σχετικά ερωτήματα των ερευνητών δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ενδείξεις εγγενών περιορισμών, αλλά ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης κοινωνικής αλληλεπίδρασης. Ως συνέπεια των παραπάνω, υποστηρίχθηκε ότι οι μαθητές δεν έχουν σαφείς γνωστικούς περιορισμούς, οι οποίοι θα πρέπει να αναδομηθούν, αλλά συγκεχυμένα τμήματα γνώσης που χρήζουν αναδιοργάνωσης (McClelland, 1984).

1.3.2. Οι προσεγγίσεις της Κατακερματισμένης γνώσης

Η υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης έχει παραγκωνιστεί σε σημαντικό βαθμό από τις βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις της εννοιολογικής αλλαγής στην Αναπτυξιακή Ψυχολογία. Ιδιαίτερα σε ορισμένες από τις αρχικές εκπαιδευτικές έρευνες (Driver, 1989; Smith, Maclin, Grosslight, & Davis, 1997), η προοπτική της συνεκτικής γνώσης υπεραντιπροσωπευόταν, ενώ οι ιδέες των ερευνητών που υποστήριζαν τον κατακερματισμό παρουσιάζονταν ως γνώμες της μειονότητας (diSessa, 2006), μολονότι αρκετοί ερευνητές (Brown, 1995; Clark, 2006; diSessa, 1988, 1993; Hunt & Minstrell, 1994; Linn, Eylon, & Davis, 2004) υποστήριζαν ότι η γνώση των μαθητών είναι το σύνολο πολλών ημι-ανεξάρτητων στοιχείων.

Η γνώση ως σύνολο p-prims

Ένας από τους σημαντικότερους εκφραστές της κατακερματισμένης γνώσης είναι ο Andrea A. diSessa. Ο diSessa (1993) υποστήριξε ότι τα παιδιά, πριν διδαχθούν την επιστημονική γνώση, κατανοούν τον φυσικό κόσμο μέσω των *φαινομενολογικών αρχετύπων* (phenomenological primitives, p-prims), ενός συνόλου ημιανεξάρτητων τμημάτων γνώσης, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των φυσικών φαινομένων. Τα p-prims παράγονται εξαιτίας της επιφανειακής ερμηνείας της φυσικής πραγματικότητας, όταν οι αρχάριοι εμπλέκονται σε καταστάσεις της καθημερινής εμπειρίας και θεωρούνται ως στοιχεία γνώσης που δεν απαιτούν εξηγήσεις. Πιο συγκεκριμένα, ονομάζονται *φαινομενολογικά*, επειδή συνδέονται πολύ στενά με οικείες καταστάσεις και *αρχέτυπα*, διότι πρόκειται για ελάχιστα στοιχεία αποθηκευμένα στη μνήμη, όπου βασίζονται οι εξηγήσεις των παιδιών. Είναι ασθενώς οργανωμένα σε ευρύτερα εννοιολογικά δίκτυα και ενεργοποιούνται μέσω ενός μηχανισμού αναγνώρισης που δημιουργείται από τις συνδέσεις των p-prims με άλλα στοιχεία του συστήματος. Αντίθετα με τις αφελείς θεωρίες, τα p-prims δεν θα πρέπει να χαρακτηρίζονται ως «θεωρία», διότι οι χαλαροί δεσμοί που τα συνδέουν δεν διακρίνονται από συστηματικότητα και σταθερότητα, αλλά εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το πλαίσιο. Μολονότι το άτομο σπάνια έχει λογική επίγνωση των στοιχείων αυτών, η ύπαρξή τους επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την κατανόηση και ερμηνεία της πραγματικότητας (diSessa, 1988, 1993). Θα πρέπει, ωστόσο, να διευκρινιστεί ότι δε συμβάλλουν όλα τα γνωστικά στοιχεία ισότιμα στις ερμηνείες που παρέχονται από τα άτομα, αλλά, αντιθέτως, οι άμεσες αισθητηριακές εμπειρίες θεωρείται ότι κατέχουν έναν προνομιούχο ρόλο σε αυτή τη διαδικασία, καθώς συχνότατα αντιμετωπίζονται ως αδιάψευστες (Haack, 2001).

Σύμφωνα με τη συλλογιστική της *προτεραιότητας* (priority) (diSessa, 1993), υποστηρίζεται ότι εννοιολογικές δομές που κατασκευάζονται από τα αρχετυπικά γνωστικά στοιχεία είναι δυνατό να εδραιωθούν ως σταθερές πτυχές της γνώσης, εφόσον αποδειχθούν χρήσιμες μέσα από επαναλαμβανόμενη αξιοποίηση. Σε αυτό το πλαίσιο, όποτε υπάρχει κάποια σχετική γνωστική απαίτηση, ανακαλούνται πρώτα (έχουν υψηλή προτεραιότητα) τα τμήματα γνώσης που θεωρούνται ως σημαντικά και αξιόπιστα, ενώ όσα αντιμετωπίζονται ως ευλογοφανή αλλά όχι αδιαμφισβήτητα έχουν χαμηλή προτεραιότητα. Ως εκ τούτου, είναι πιθανό να κατασκευαστεί κατά προτεραιότητα μία εξήγηση που να συμπεριλαμβάνει τα γνωστικά στοιχεία που θεωρούνται ως χρησιμότερα (Karon & diSessa, 2012; Parnafes, 2012; Sherin, Krakowski, & Lee, 2012; Taber, 1995).

Από αυτή την άποψη, η μάθηση αποτελεί μια σταδιακή διαδικασία κατά την οποία απομονωμένα τμήματα γνώσης συλλέγονται και ενσωματώνονται σε ευρύτερα σύνολα, ενώ η διδασκαλία οφείλει να βοηθά το παιδί να ανιχνεύσει και να κατανοήσει τις αποσπασματικές του γνώσεις, ώστε να καταστεί δυνατόν να τις αναδιοργανώσει σε

περισσότερο σύνθετες γνωστικές δομές. Ωστόσο, θα πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι τα p-prims αποτελούν υποθετικά στοιχεία που αξιοποιούνται αφενός για να εξηγηθεί ο τρόπος με τον οποίο απαντούν τα άτομα, όταν δεν γνωρίζουν εκ των προτέρων την απάντηση, κι αφετέρου για να αποδοθεί ο τρόπος που οργανώνονται οι πιο σύνθετες και σταθερές νοητικές δομές (diSessa, 1993, 2006). Παράλληλα, έχουν διατυπωθεί ενστάσεις ως προς την ύπαρξή τους, διότι υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις στην καθημερινή ζωή (π.χ. η εξήγηση της ταχύτητας σε ένα όχημα κινούμενο με σταθερή ταχύτητα χωρίς ο άνθρωπος να κοιτάζει προς τα έξω) όπου δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν, με αποτέλεσμα η άποψη της συνεκτικής γνώσης να υποστηρίζεται ότι εξηγεί καλύτερα τα φαινόμενα (Brown & Hammer, 2008).

Ο Frederick Reif (1987) εξέφρασε παρόμοιες θέσεις με τον diSessa. Σύμφωνα με την υπόθεσή του, τα παιδιά αποθηκεύουν στη μνήμη τους τμήματα γνώσης. Όταν λοιπόν καλούνται να ερμηνεύσουν μία κατάσταση, αναζητούν ομοιότητες ανάμεσα στο πρόβλημα και στις διαθέσιμες γνώσεις τους και προχωρούν στην ανάκληση αυτής που θεωρούν καταλληλότερη για την εκάστοτε περίπτωση. Πρόκειται για μία διαδικασία, η οποία πραγματοποιείται συνήθως αυτόματα χωρίς την πλήρη επίγνωση από πλευράς του ατόμου. Κατά συνέπεια, η ίδια κατάσταση είναι δυνατόν να ερμηνευθεί με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το ποια γνώση ανακαλείται τη δεδομένη στιγμή και το πώς αυτή εφαρμόζεται, αφήνοντας περιθώρια αντιφατικών ερμηνειών για την ίδια κατάσταση (Reif, 1987).

Κατά την Parnafes (2012), τα είδη των τμημάτων γνώσης που ενυπάρχουν στις ερμηνείες είναι τέσσερα: α) οι *δηλωτικές προτάσεις* (propositions), που ισχυρίζονται ότι μια δεδομένη κατάσταση είναι αληθινή και μπορούν να ενσωματωθούν στη γνωστική δομή του ατόμου ως αποτέλεσμα διδασκαλίας δεδομένων, ως τυχαία προσωπική γνώση ή ως άμεση προσωπική εμπειρία, β) τα *γενικά σχήματα* (general schemes), δηλαδή αφηρημένες έννοιες που υποδηλώνουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο κόσμος (σε αυτές συμπεριλαμβάνονται και τα p-prims του diSessa), γ) τα *νοητικά μοντέλα* (mental models), τα οποία έχουν περιορισμένη λειτουργία και υποδηλώνουν τις νοητικές αναπαραστάσεις καταστάσεων πραγματικών ή φανταστικών, που βοηθούν τα άτομα να προχωρήσουν σε προβλέψεις, και δ) οι *νοητικές εικόνες* (mental images), δηλαδή στατικές αναπαραστάσεις αντικειμένων που δεν είναι πλέον ορατά.

Σε αντίθεση με τις προοπτικές της συνεκτικής γνώσης, οι υποστηρικτές της κατακερματισμένης γνώσης τείνουν να βασίζονται λιγότερο σε όρους που παρέχονται από την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης (έννοιες, θεωρίες, οντολογίες). Η έρευνα που υιοθετεί αυτή τη θεωρητική προσέγγιση είναι εκτενής, ως εκ τούτου συχνά παρατηρούνται αποκλίσεις αναφορικά με το σημείο στο οποίο αποδίδουν έμφαση οι διαφορετικοί ερευνητές. Πράγματι, ορισμένοι (Anderson, 1993; Thagard, 1992) παρέχουν μηχανιστικά παραδείγματα αυτής της προοπτικής, ενώ άλλοι (Clark, 2006; diSessa et al., 2004; Hunt & Minstrell, 1994; Linn et al., 2004; Preece, 1984) προτείνουν ερμηνείες που εδράζονται σε σύνολα στοιχείων, τα οποία περιλαμβάνουν αρχέτυπα, γεγονότα και αφηγήσεις σε διάφορα στάδια εκλέπτυνσης, χωρίς ωστόσο να περιορίζονται σε αυτά. Πιο συγκεκριμένα, ο diSessa (1988, 1993) εστιάζει στη φύση των στοιχείων, ο Clark (2006) ενδιαφέρεται κυρίως για τις διαχρονικές διαδικασίες αλλαγής, οι Hunt & Minstrell (1994) δίνουν έμφαση στις γνωστικές πτυχές που αξιοποιούνται κατά τη διάρκεια του μαθήματος από τους μαθητές, η Linn και οι συνεργάτες της (2004) στη διαδικασία που ακολουθείται για την αναθεώρηση και την αναδιοργάνωση αυτών των στοιχείων, ενώ ο Preece (1984) υποστήριξε ότι τα γνωστικά στοιχεία πριν την τυπική διδασκαλία δεν αντλούνται από την εμπειρία αλλά ενεργοποιούνται από αυτή (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007).

Κοινωνικο-πολιτισμικές προσεγγίσεις στην κατάκτηση της γνώσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η άποψη του diSessa σχετικά με τη δομή της γνώσης είναι ότι η προεπιστημονική γνώση αποτελεί μια κατακερματισμένη συλλογή από ημι-ανεξάρτητα στοιχεία που σταδιακά οργανώνονται σε πιο σύνθετες δομές (diSessa, 1988; diSessa et al., 2004). Ωστόσο, εντός της προσέγγισης της κατακερματισμένης γνώσης υπάρχει άλλο ένα ρεύμα, εκείνο της κοινωνικο-πολιτισμικής απόκτησης των στοιχείων αυτών. Σύμφωνα με αυτή, σε αντίθεση με όσα υποστηρίζουν ο diSessa με τους συνεργάτες του, η κατακερματισμένη γνώση δεν θεωρείται ως απόρροια των διαισθήσεων, αλλά ως το εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα των πολιτισμικών επιρροών. Πράγματι, για να εξετάσει κανείς τις ερμηνείες των παιδιών για το φυσικό κόσμο, είναι αναπόφευκτο να τις αντιπαραβάλλει με την κοινώς αποδεκτή επιστημονική θεωρία. Σύμφωνα όμως με την κοινωνιολογία της επιστημονικής έρευνας, όλες οι θεωρίες διατυπώνονται σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικο-πολιτισμικό χώρο από τον οποίο και επηρεάζονται. Κατά συνέπεια, κάθε προσπάθεια διερεύνησης των απόψεων των παιδιών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κοινωνικό περιβάλλον στο οποίο αυτές αναφέρονται, θα είναι περιορισμένης αποτελεσματικότητας (Knoorr-Cetina & Mulkey, 1983).

Σύμφωνα με την κοινωνικο-πολιτισμική προσέγγιση, το παιδί θεωρείται ως ένα μαθητευόμενο άτομο, που κατακτά τη γνώση μέσω της απόκτησης των εργαλείων που του παρέχει ο πολιτισμός (Chi, 1978; Gellatly, 1997; Rogoff, 1990; Vygotsky, 1978; Wellman & Gelman, 1998; Wertsch, 1997). Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζεται ότι η αρχική κατάσταση του γνωστικού συστήματος των παιδιών είναι η άγνοια, δηλαδή δεν έχουν πεποιθήσεις ή διαισθήσεις, σωστές ή λανθασμένες - απλώς δεν γνωρίζουν. Οι πηγές μάλιστα των πληροφοριών δεν είναι διαισθητικές ή εμπειρικές αλλά πολιτισμικές (π.χ. οικογένεια, κοινωνικός περίγυρος, διδασκαλία και μέσα μαζικής ενημέρωσης) και ως τέτοιες δεν χαρακτηρίζονται από συνεκτικότητα, που θα μπορούσε να προκαλέσει αντίσταση στην αλλαγή. Ιδιαίτερα για τα φαινόμενα τα οποία το παιδί δεν μπορεί να παρατηρήσει άμεσα, η γνωστική δομή είναι δυνατό να εμπλουτίζεται από νωρίς με την επιστημονική γνώση, εφόσον παρέχονται οι κατάλληλες πολιτισμικές πληροφορίες, μέχρι την τελική οργάνωσή τους στη συνεπή επιστημονική θεωρία (Nobes, Martin, & Panagiotaki, 2005; Panagiotaki, Nobes, & Banerjee, 2006b; Panagiotaki, Nobes, & Potton, 2009).

Σε αυτό το πλαίσιο, έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι, ακόμη κι εάν υπάρχουν ορισμένοι διαισθητικοί περιορισμοί, αυτοί είναι τόσο αδρομερείς που πολύ νωρίς στη ζωή του παιδιού μπορούν να ξεπεραστούν μέσω της γνώσης που αποκτάται κοινωνικο-πολιτισμικά (Shweder et al., 2007; Siegal, Butterworth, & Newcombe, 2004). Μάλιστα, έχει βρεθεί ερευνητικά ότι τα παιδιά, όπως και οι ενήλικοι, μαθαίνουν μέσω των εμπειριών άλλων ανθρώπων, ενώ είναι αρκετά επιλεκτικά ως προς το σε ποιον θα απευθυνθούν για πληροφορίες ήδη από την ηλικία των 4 ετών, καθώς αναζητούν εκείνους τους ενηλίκους που έχει διαπιστωθεί στο παρελθόν ότι παρέχουν ακριβείς πληροφορίες (Harris, 2000, 2007; Harris & Koenig, 2006). Η υπόθεση της πολιτισμικής διαμεσολάβησης είναι σύμφωνη με διάφορα ευρήματα αναφορικά με τη συμβολή του πολιτισμικού περιβάλλοντος σε πολλούς τομείς γνωστικής ανάπτυξης, όπως η απαρίθμηση (Miller & Stigler, 1987; Miura, Kim, Chang, & Okamoto, 1988), ενώ ενισχύεται και από αρκετά ερευνητικά πορίσματα τα τελευταία χρόνια (Nobes et al., 2003, 2005, Panagiotaki et al., 2006b, 2009).

Σύννοψη και σύνθεση των προοπτικών της κατακερματισμένης γνώσης

Συμπερασματικά, η προσέγγιση της κατακερματισμένης γνώσης θέτει ένα διαφορετικό σύνολο υποθέσεων σχετικά με τις δυσκολίες της αλλαγής, καθώς υποστηρίζει ότι οι αφελείς γνωστικές δομές συντίθενται από πολλαπλά εννοιολογικά στοιχεία, τα οποία οι μαθητές συνδέουν και ενεργοποιούν αυθόρμητα, ανάλογα με το συσχετισμό τους με την κατάσταση. Κατά τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, τα στοιχεία και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους αναθεωρούνται και βελτιώνονται μέσω της προσθήκης, της κατάργησης και της αναδιοργάνωσης, ώστε να ενισχυθεί το δίκτυο. Από αυτή την προοπτική, η εννοιολογική αλλαγή αποτελεί μια βαθμιαία διαδικασία, παρά μια στιγμιαία ευρεία αντικατάσταση θεωρίας. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατακερματισμένης γνώσης είναι ότι αντιμετωπίζει την εννοιολογική αλλαγή ως δύσκολη διαδικασία, ανεξαρτήτως του αν υφίσταται ή όχι ένα προϋπάρχον ανταγωνιστικό εννοιολογικό πλαίσιο (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007).

1.3.3. Διαφορές των δύο προσεγγίσεων

Οι προσεγγίσεις της συνεκτικής και της κατακερματισμένης γνώσης έχουν θεμελιώδεις διαφορές ως προς όλες σχεδόν τις εκφάνσεις της εννοιολογικής αλλαγής, αλλά και της αντιμετώπισης της γνώσης εν γένει. Παρακάτω σκιαγραφούνται οι σημαντικότερες από αυτές, ωστόσο, σύμφωνα και με την άποψη του diSessa (2006), η διευθέτηση της διαφωνίας μεταξύ των απόψεων περί συνεκτικής και κατακερματισμένης γνώσης, ώστε να επέλθει επιστημονική συναίνεση στο πεδίο, απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη της θεωρίας και μεθοδολογίας, καθώς είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν καλύτερα γνωστικά μοντέλα, να βελτιωθούν οι εμπειρικοί δείκτες που επιλέγονται, αλλά και να αναβαθμιστούν οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων.

Οι δομικές ιδιότητες της αφελούς γνώσης

Η κρισιμότερη διαφορά μεταξύ των δύο προοπτικών αναφορικά με την εννοιολογική ανάπτυξη σχετίζεται με τη δομή της αφελούς γνώσης των παιδιών, πριν αυτά αποκτήσουν την πλήρη κατανόηση της τυπικής επιστημονικής γνώσης. Η προσέγγιση της συνεκτικής γνώσης, βασισμένη σε εργασίες του Piaget, αντιλαμβάνεται την αφελή γνώση ως συνεκτική και οργανωμένη σε μια θεωρία πλαισίου, με τέτοιο τρόπο, που την κάνει να ανθίσταται στις διακυμάνσεις. Ο όρος *θεωρία πλαισίου* δεν έχει κοινά χαρακτηριστικά με την επιστημονική Θεωρία (π.χ. δεν είναι κοινώς αποδεκτή ούτε εξετάζεται σχετικά με τη διαψευσιμότητά της) και χρησιμοποιείται για να αποδώσει μία αδρομερή εννοιολογική δομή, που βασίζεται σε οντολογικούς περιορισμούς και αποτελεί το πρίσμα μέσα από το οποίο τα άτομα εξηγούν την πραγματικότητα. Υπό την επίδραση του περιβάλλοντος και της διδασκαλίας, οι αρχάριοι προσπαθούν να ενσωματώσουν τις επιστημονικές πληροφορίες στην ασύμβατη προηγούμενη γνώση τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθετικών μοντέλων. Αυτή η διαδικασία επιφέρει σταδιακά αλλαγές στους τομείς της οντολογίας και της επιστημολογίας, αποκορύφωμα των οποίων αποτελεί η απόρριψη της *αφελούς θεωρίας* (naïve theory) υπέρ της επιστημονικής. Από την άλλη, οι υποστηρικτές της κατακερματισμένης γνώσης ισχυρίζονται ότι η αφελής γνώση δεν

χαρακτηρίζεται από συνεκτικότητα ούτε είναι δομημένη ως θεωρία, αλλά πρόκειται για μία ομάδα ημι-ανεξάρτητων στοιχείων που είναι ασθενώς συνδεδεμένα μεταξύ τους σε ευρύτερα εννοιολογικά δίκτυα, στο πλαίσιο μιας εννοιολογικής οικολογίας χωρίς υπερκείμενη δομή. Η διαδικασία απόκτησης της επιστημονικής γνώσης δηλαδή μοιάζει με την κατασκευή ενός παζλ, όπου, κομμάτι-κομμάτι, προστίθενται διαρκώς νέα στοιχεία, εμπλουτίζοντας την εικόνα μέχρι να ολοκληρωθεί. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αφελείς αντιλήψεις που προσομοιάζουν με θεωρία μέχρι την κατάκτηση του επιστημονικού μοντέλου, ενώ οι παρατηρούμενες διαφορές στις έννοιες μεταξύ παιδιών και ενηλίκων είναι απλώς διαφορές στο βαθμό κατάκτησης της γνώσης. Ως εκ τούτου, οι ερευνητές της κατακερματισμένης γνώσης καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι μπορεί να υπάρχει συνεπής εφαρμογή των ιδεών αυτών σε διαφορετικές συνθήκες, ωστόσο οι προβλέψεις των παιδιών επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις ιδιαιτερότητες του πλαισίου. Παράλληλα, είναι δυνατό ένα άτομο να διατηρεί ταυτόχρονα πολλαπλές αντικρουόμενες ιδέες για ένα θέμα (Nobes & Panagiotaki, 2007, 2009; Özdemir & Clark, 2007; Straatemeier et al., 2008; Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Η κατάκτηση της γνώσης

Σύμφωνα με την υπόθεση της συνεκτικής γνώσης, η γνώση και, κατ' επέκταση τα νοητικά μοντέλα των παιδιών, θεωρείται ότι προκύπτουν πρωτίστως από τις καθημερινές αισθητηριακές τους εμπειρίες για τα φυσικά και χημικά φαινόμενα. Αυτές, σε συνέργεια με διάφορους ισχυρούς διαισθητικούς περιορισμούς, οργανώνονται σε γνωστικά συστήματα, έτσι ώστε οι εξηγήσεις τους συχνά να μην ακολουθούν τις επιστημονικά τεκμηριωμένες θέσεις. Στον αντίποδα, για την προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης, η μάθηση είναι το αποτέλεσμα του σταδιακού εμπλουτισμού της γνωστικής δομής μέσω των πολιτισμικών επιρροών από την πρώτη στιγμή, καθώς θεωρείται ότι οι πρώιμες ιδέες των παιδιών για διάφορα θέματα του φυσικού κόσμου, ιδιαίτερα για εκείνα για τα οποία δεν έχουν άμεση πρόσβαση, ώστε να αποκτήσουν προσωπικές εμπειρίες (π.χ. το σχήμα της Γης), βασίζονται στις πολιτισμικές πληροφορίες που λαμβάνουν από τον κοινωνικό τους περίγυρο, τα αναγνώσματά τους, τα μέσα ενημέρωσης και την τυπική ή άτυπη διδασκαλία. Υπ' αυτή την έννοια, η θέση του diSessa και των συνεργατών του (diSessa, 1988; diSessa et al., 2004) μπορεί να τοποθετηθεί εγγύτερα στην άποψη της συνεκτικής γνώσης, καθώς ορίζουν τα p-prims ως φαινομενολογικά στοιχεία, που προκύπτουν από τις διαισθητικές παρανοήσεις της καθημερινής εμπειρίας (diSessa et al., 2004; Nobes & Panagiotaki, 2007, 2009; Panagiotaki et al., 2006b; Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Η διαδικασία σκέψης

Οι δύο προσεγγίσεις καταλήγουν ουσιαστικά σε δύο ορισμούς της διαδικασίας σκέψης, με θεμελιωδώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Κατά την άποψη της συνεκτικής γνώσης, τα παιδιά, για να απαντήσουν σε κάποια νοητική εργασία, αναζητούν το πιο πρόσφορο προϋπάρχον συνεκτικό εννοιολογικό πλαίσιο, το οποίο σχηματίζεται και περιορίζεται από επιστημολογικές και οντολογικές προϋποθέσεις, και επεξεργάζονται την ερώτηση μέσω αυτού. Σε ένα τέτοιο θεωρητικό πλαίσιο, η κύρια διαφορά ανάμεσα στον αρχάριο και τον ειδικό δεν είναι ότι οι γνώσεις του αρχαρίου είναι κατακερματισμένες, ενώ οι γνώσεις του ειδικού συνεκτικές και σύμφωνες με το επιστημονικό μοντέλο, αλλά ότι η γνώση του αρχαρίου σχετίζεται με οντολογικές και επιστημολογικές προϋποθέσεις που παρέχουν ένα εκ διαμέτρου διαφορετικό

επεξηγηματικό πλαίσιο σε κοινές εμπειρίες. Μια πρόσθετη σημαντική απόκλιση μεταξύ των αρχαρίων και των ειδικών είναι ότι οι αρχάριοι, αντίθετα με τους επιστήμονες, δεν έχουν επίγνωση των πεποιθήσεων που περιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύουν νέες πληροφορίες (Vosniadou, 1994). Αντιθέτως, σύμφωνα με την κατακερματισμένη γνώση, πριν την κατανόηση της επιστημονικής άποψης, τα παιδιά δεν κατασκευάζουν προσωπικές θεωρίες βασισμένα στην εμπειρία ή τη διαίσθησή τους. Δηλαδή, όταν τίθεται κάποιο ερώτημα για ένα θέμα για το οποίο δεν κατέχουν την επιστημονική γνώση, δεν απαντούν με βάση συγκεκριμένες προϋπάρχουσες παρανοήσεις, καθώς δεν κατέχουν τέτοιες (Nobes & Panagiotaki, 2009). Συνεπώς, η σκέψη αντιμετωπίζεται ως μία διαδικασία επιλογής μέσα από ένα εύρος γνωστικών πόρων, συχνά κοινωνικά αποκτημένων, οι οποίοι πρέπει να συντονιστούν σε μια κατάλληλη δομή για απαντήσουν στο εκάστοτε ερώτημα (Taber, 2008).

Ο βαθμός συνέπειας των απαντήσεων

Είναι γενική παραδοχή ότι, όταν τίθεται κάποια νοητική δοκιμασία, οι μαθητές, μέσω της διαδικασίας της σκέψης, κινητοποιούν τους νοητικούς και τους γνωστικούς τους πόρους, για να απαντήσουν σε αυτή. Μία ακόμη αντίθεση των δύο προοπτικών, ωστόσο, επικεντρώνεται στο βαθμό στον οποίο οι προβλέψεις ενός παιδιού πρέπει να είναι συνεπείς, για να χαρακτηριστούν ως 'παρόμοιες με θεωρία'. Σύμφωνα με την υπόθεση της συνεκτικής γνώσης, οντολογικές και επιστημολογικές παραδοχές (π.χ. τα βαρύτερα αντικείμενα πέφτουν πιο γρήγορα) ενσωματώνονται στις αφελείς θεωρίες και οι εξηγήσεις των μαθητών περιορίζονται από αυτές. Ως εκ τούτου, ένα παιδί, καθοδηγούμενο από την αφελή του θεωρία, κάνει συνεπείς προβλέψεις και παρέχει αιτιώδεις ερμηνείες σε διάφορα πλαίσια και ευρείς τομείς της γνώσης, οι οποίοι μπορεί είτε να είναι παράλληλοι είτε όχι με τους αντίστοιχους της επίσημης επιστήμης. Επιπλέον, θεωρείται ότι υπάρχει μεγάλου βαθμού συνεκτικότητα μεταξύ των ιδεών. Η προσέγγιση της κατακερματισμένης γνώσης αντιμετωπίζει τις γνωστικές δομές των μαθητών ως περισσότερο ευαίσθητες από το πλαίσιο της ερώτησης, ενώ οι προβλέψεις τους θα αναμένεται να είναι συνεπείς με την πάροδο του χρόνου για συγκεκριμένες αλληλοσυσχετιζόμενες έννοιες (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007; Taber, 2008).

Ορισμένοι ερευνητές της κατακερματισμένης γνώσης προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται κάποιου βαθμού συνεκτικότητα της γνώσης. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν η εισαγωγή του όρου *τοπική συνεκτικότητα* (local coherence), για να αποδώσουν τη διαδικασία οργάνωσης των τμημάτων γνώσης σε μία συνεπή εξήγηση, ώστε ο αρχάριος να απαντήσει σε μια ερώτηση. Εάν, ωστόσο, αλλάξει το πλαίσιο της ερώτησης, η παρατηρούμενη συνεκτικότητα παύει να υφίσταται και το παιδί θα απαντήσει σύμφωνα με κάποια άλλη τοπική συνεκτικότητα (Hammer et al., 2005). Αντίστοιχη είναι και η θεωρητική κατασκευή των *Δυναμικών Νοητικών Κατασκευών* (Dynamic Mental Constructs), που αποδίδει μια προσωρινή ερμηνευτική δομή στο πλαίσιο της ερευνητικής συνέντευξης. Σε αυτή, μία εξήγηση, παρότι μπορεί να χαρακτηρίζεται από συνέπεια εντός ενός κόμβου, είναι πιθανό να μετατοπιστεί σε διαφορετικό DMC κατά τη διάρκεια της συνέντευξης (Sherin et al., 2012). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ξανά ότι, από την άποψη της κατακερματισμένης γνώσης, μολονότι υποστηρίζεται ότι επέρχεται ουσιαστική συστηματικότητα μόνο όταν τα παιδιά κατακτούν την επιστημονική γνώση, η σκέψη τους δεν αντιμετωπίζεται ως εντελώς αδόμητη (βλ. diSessa, 1993). Το κεντρικό ζήτημα, μάλλον, είναι η περιγραφή της φύσης και της έκτασης της συστηματικότητας και μία πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του ζητήματος θα περιελάμβανε ακριβέστερα μοντέλα και βελτιωμένους εμπειρικούς

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

προσδιορισμούς των παραμέτρων τους (diSessa, 2006; Özdemir & Clark, 2007; Taber, 2008).

Αιτίες κατακερματισμού και ασυνέπειας

Η προσέγγιση της συνεκτικής γνώσης υποστηρίζει ότι η συνεκτικότητα αποτελεί μια αρχική κατάσταση του γνωστικού συστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο ο παρατηρούμενος κατακερματισμός είναι το αποτέλεσμα μιας αρχικής διδασκαλίας και της αδυναμίας των παιδιών να ενσωματώσουν τις επιστημονικές πληροφορίες στην υπάρχουσα, συχνά ασύμβατη, γνωστική τους δομή (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994). Ως εκ τούτου, στην προσπάθειά τους να επανέλθει η εσωτερική συνέπεια στο γνωστικό τους σύστημα, διαστρεβλώνουν την επιστημονική γνώση, ενώ τα συνθετικά μοντέλα που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία είναι πιθανό να παραγάγουν ασυνεπείς απαντήσεις (Vosniadou & Skopeliti, 2014). Στον αντίποδα, για την υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης η επίτευξη της συνεκτικότητας της γνώσης είναι εφικτή χάρις στην έκθεση του ατόμου στη συμβολική και επιστημονική γλώσσα μέσω της διδασκαλίας (diSessa, 1993).

Η αντίσταση της αφελούς γνώσης στην αλλαγή

Σύμφωνα με την προοπτική της συνεκτικής γνώσης, η καθημερινή επιβεβαίωση των αφελών θεωριών μέσω της εμπειρίας οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση στην εννοιολογική αλλαγή, με αποτέλεσμα, ακόμη και μετά από διδασκαλία, οι μαθητές να διατηρούν μέρος των εναλλακτικών τους ιδεών. Για την επιτυχημένη διδασκαλία των επιστημονικών θεωριών, πρέπει να είναι γνωστές οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, ώστε να προσαρμοστούν οι διδακτικές πρακτικές με κατάλληλο τρόπο. Από τη θεώρηση της κατακερματισμένης γνώσης, η απουσία ισχυρών διαισθητικών περιορισμών και ο προεξάρχων ρόλος των πολιτισμικών επιρροών υποδηλώνουν ότι στην πραγματικότητα δεν υφίστανται κάποιου είδους προϋποθέσεις που οδηγούν σε αντίσταση στην κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης. Αντιθέτως, έχει βρεθεί ερευνητικά ότι τα παιδιά είναι σε θέση να κατακτούν αντιδιαισθητικές αντιλήψεις για τον φυσικό κόσμο από μικρή ηλικία (Nobes & Panagiotaki, 2009; Özdemir & Clark, 2007; Vosniadou & Skopeliti, 2014).

Η ταχύτητα της εννοιολογικής αλλαγής

Άλλη μία σημαντική διαφορά μεταξύ των προοπτικών εστιάζεται στη φύση των διαδικασιών αλλαγής. Η προοπτική της συνεκτικής γνώσης συχνά υποστηρίζει ότι υπάρχει ριζική αλλαγή, καθώς οι υπάρχουσες έννοιες εγκαταλείπονται και αντικαθίστανται από τις επιστημονικές. Η κυρίαρχουσα αντίληψη είναι ότι οι αρχάριοι έχουν ήδη μία εκτεταμένη θεωρητική δομή, όπου θα πρέπει να προσθέσουν νέα στοιχεία ή να τροποποιήσουν τα υπάρχοντα, ώστε να αντικατασταθεί η αρχική θεωρία από την επιστημονική. Η αλλαγή αυτή συνήθως ορίζεται ως ολιστική και πλήρης, παρότι αρκετοί θεωρητικοί (μεταξύ αυτών η Carey και η Vosniadou) αναγνωρίζουν ότι η διαδικασία συχνά είναι χρονοβόρα. Η κεντρική ιδέα είναι ότι αυτή η ολοκληρωτική αλλαγή προκύπτει μεταξύ διακριτών μοντέλων, τα οποία προσομοιάζουν με θεωρία και ότι οι μαθητές μπορούν να κατέχουν προσωρινά πολλαπλά "συνθετικά μοντέλα" μεταξύ των σταδίων. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να υπάρχει μεγάλου βαθμού συνεκτικότητα μεταξύ των ιδεών αυτών οποιαδήποτε χρονική στιγμή της διαδικασίας αλλαγής. Στον αντίποδα, η προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης προτείνει μια

περισσότερο εξελικτική διαδικασία χωρίς διακριτές φάσεις ή στάδια. Η υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης υποδηλώνει ότι η διαδικασία σχηματισμού της γνώσης ξεκινά με ημι-ανεξάρτητα τμήματα γνώσης, που συνδέονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν περισσότερο πολύπλοκες εννοιολογικές δομές. Η μάθηση, λοιπόν, περιλαμβάνει σταδιακή επαύξηση των στοιχείων μέσω των κοινωνικών και πολιτισμικών επιρροών, τμηματικές εξαλείψεις τους και αναδιοργάνωσή τους, ενώ είναι δυνατόν ένας μαθητής να έχει ταυτόχρονα αρκετές αντικρουόμενες ιδέες για τον φυσικό κόσμο. Οι προοπτικές της κατακερματισμένης γνώσης μπορούν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμες επειδή παρέχουν περισσότερα εργαλεία για να ερμηνεύσουν τις περιόδους μετάβασης στην κατανόηση των μαθητών, ακόμη και αν οι αρχικές ιδέες των μαθητών, όπως επίσης και τα ενδιάμεσα στάδια, είναι όντως συνεκτικές ως θεωρία. Τα εργαλεία για την εξήγηση και τη μοντελοποίηση των μεταβατικών περιόδων είναι κρίσιμα, διότι αυτές οι μεταβατικές περίοδοι μπορεί να επεκταθούν σε πολλές σχολικές βαθμίδες, αλλά και στην ενήλικη ζωή, όπως προκύπτει από σχετικές έρευνες (π.χ. Clark, 2006). Συνεπώς, ακόμη και αν γίνεται αποδεκτό ότι οι νεαροί μαθητές κατέχουν αφελείς γνώσεις παρόμοιες με θεωρία, το ισχυρότερο επιχείρημα υπέρ της κατακερματισμένης γνώσης είναι ότι μπορεί να εξηγήσει τόσο τις συνεκτικές όσο και τις μεταβατικές φάσεις, ενώ η συνεκτική γνώση εστιάζεται κυρίως σε φάσεις της διαδικασίας που φαίνονται αρκετά εφήμερες (diSessa, 2006; Nobes & Panagiotaki, 2009; Özdemir & Clark, 2007; Panagiotaki et al., 2006b).

1.3.4. Εμπειρικά δεδομένα των θεωριών εννοιολογικής αλλαγής

Ιστορικά, η σχετική βιβλιογραφία κλίνει προς την υιοθέτηση της συνεκτικής γνώσης (diSessa, 2006; Driver, 1989). Ωστόσο, σταδιακά, τα τελευταία χρόνια υπάρχει πληθώρα ερευνών που υποστηρίζουν την προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης.

Ένα από τα πιο πολυσυζητημένα θέματα είναι εκείνο της Δύναμης. Οι Ioannides και Vosniadou (2002) διεξήγαγαν έρευνα σχετικά με την εξέλιξη της κατανόησης της έννοιας της Δύναμης και τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι το 88,6% των συμμετεχόντων έδωσαν απαντήσεις συνεπείς με επτά διαφορετικά μοντέλα της Δύναμης, ανεξαρτήτως από το πλαίσιο των ερωτήσεων, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι ερμηνείες των μαθητών για τη Δύναμη ήταν ομοιόμορφες και εσωτερικά συνεπείς. Στην προσπάθειά τους να αναπαραγάγουν τα αποτελέσματα, ο diSessa με τους συνεργάτες του (2004) συμπέραναν ότι τα ευρήματά τους δεν ήταν δυνατό να ερμηνευθούν υπό το πρίσμα της συνεκτικής γνώσης, καθώς οι απαντήσεις των μαθητών παρουσίαζαν μεγάλη ασυνέπεια. Τα ευρήματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με εκείνα προηγούμενων ερευνών (diSessa, 1993; diSessa, Elby, & Hammer, 2002). Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα μεταξύ αυτών των ερευνών δημιούργησαν την ανάγκη περαιτέρω διευκρίνισης. Πρόσφατα, οι Özdemir και Clark (2009), για να συνεισφέρουν στο σχετικό διάλογο, διεξήγαγαν μια μελέτη αναπαραγωγής, όπου εφάρμοσαν τα συστήματα κωδικοποίησης και των δύο προαναφερθεισών ερευνών, ενώ ο Clark με τους συνεργάτες του (Clark, D'Angelo, & Schleigh, 2011) διεξήγαγαν αντίστοιχη έρευνα σε μαθητές από πέντε διαφορετικές χώρες. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, οι απαντήσεις των μαθητών αναφορικά με τη Δύναμη μπορούν να εξηγηθούν καλύτερα από την προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης, ενώ, παράλληλα, αναδείχθηκαν ορισμένες μεθοδολογικές ατέλειες, όπως το ότι τα εφαρμοζόμενα συστήματα κωδικοποίησης και η διερεύνηση της κατανόησης της Δύναμης σε περιορισμένο αριθμό διαφορετικών συνθηκών, μπορεί να οδηγήσουν σε

υπερεκτίμηση της συνοχής (Clark et al., 2011; Özdemir & Clark, 2009). Σε παρόμοια συμπεράσματα, με ιδιαίτερη μνεία στην ευαισθησία από το πλαίσιο της ερώτησης, κατέληξε και έρευνα σε σπουδαστές κολλεγίων (Thaden-Koch, Dufresne, & Mestre, 2006).

Ένα άλλο θέμα, για το οποίο έχει διεξαχθεί σημαντικός αριθμός μελετών, είναι η κατανόηση των παιδιών για το σχήμα και τις ιδιότητες της Γης. Η Vosniadou και οι συνεργάτες της (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994; Vosniadou & Skopeliti, 2005; Vosniadou et al., 2004) εντόπισαν έξι βασικά νοητικά μοντέλα σύμφωνα με τα οποία απαντά η πλειοψηφία των μαθητών. Ωστόσο, η προσπάθεια της Straatemeier και των συνεργατών της (Straatemeier et al., 2008) να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη αυτών των νοητικών μοντέλων απέβη άκαρπη, παρέχοντας στοιχεία για την υποστήριξη της κατακερματισμένης γνώσης. Παράλληλα, ο Nobes και οι συνεργάτες του έχουν διεξαγάγει πληθώρα ερευνών αναφορικά με την αντίληψη του σχήματος της Γης από παιδιά και ενήλικους, σε καμία εκ των οποίων δεν στάθηκε δυνατό να εντοπιστούν τα μοντέλα αυτά (Frède et al., 2011; Nobes et al., 2003, 2005, Nobes & Panagiotaki, 2007, 2009, Panagiotaki et al., 2006b, 2006a; Siegal, Nobes, & Panagiotaki, 2011). Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και άλλων ερευνών (Schoultz, Säljö, & Wyndhamn, 2001; Siegal et al., 2004).

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί και στον τομέα της δομής της ύλης, οι οποίες δεν κατόρθωσαν να εντοπίσουν τα προτεινόμενα μοντέλα. Επιπλέον, η αναζήτηση ανεξάρτητων προγνωστικών παραγόντων αποκάλυψε το ρόλο ορισμένων ατομικών διαφορών που εξηγούν δυσκολίες στην επίτευξη της επιστημονικής άποψης. Η τυπική συλλογιστική σκέψη, η συγκλίνουσα / αποκλίνουσα σκέψη και η εξάρτηση / ανεξαρτησία από το πεδίο βρέθηκε ότι συνδέονται με την απόδοση των μαθητών στο ζήτημα της δομής της ύλης και των αλλαγών της κατάστασης (Tsitsipis, Stamovlasis, & Papageorgiou, 2010, 2012). Έρευνες (Stamovlasis, Papageorgiou, & Tsitsipis, 2013; Zarkadis, Papageorgiou, & Stamovlasis, 2017) που πραγματοποιήθηκαν για τον εκ νέου εντοπισμό των νοητικών μοντέλων που είχαν προταθεί αναφορικά με τη δομή της (Johnson, 1998), υποστήριξαν επίσης την υπόθεση της κατακερματισμένης γνώσης.

Επιπλέον, αρκετές πρόσφατες μελέτες, που διερευνούν το ζήτημα της φύσης της γνώσης έχουν παράσχει περαιτέρω υποστήριξη για την προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης σε διαφορετικούς, όπως τα βιολογικά φαινόμενα (Southerland, Abrams, Cummins, & Anzelmo, 2001), η θερμοδυναμική (Clark, 2006; Clark & Linn, 2003; Linn & Hsi, 2000), η άνωση (Schneider & Hardy, 2013) και η στατιστική/ πιθανότητες (Wagner, 2006, 2010), δείχνουν ότι η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών είναι συχνά ιδιαίτερα ευαίσθητη στο πλαίσιο. Μάλιστα η Marcia C. Linn έχει προτείνει συγκεκριμένη διδακτική μεθοδολογία, τη *scaffolded knowledge integration* (Linn, 2006), η οποία αναγνωρίζει ρητά την πολλαπλότητα των διαισθητικών ιδεών και την ευαισθησία τους από το πλαίσιο της ερώτησης, ανάγοντας ουσιαστικά την *ενσωμάτωση* (αυξανόμενη συστηματικότητα) σε ορισμό της εννοιολογικής εξέλιξης.

Μολονότι οι ερευνητές εξακολουθούν να συζητούν αυτό το θέμα και δεν υπάρχει ακόμη συναίνεση σχετικά με τη συνεκτικότητα της δομής της γνώσης και τους μηχανισμούς της εννοιολογικής αλλαγής, φαίνεται ότι η προοπτική της κατακερματισμένης γνώσης κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια (Özdemir & Clark, 2007), λόγω των ευρημάτων των πρόσφατων μελετών. Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι αρκετοί ερευνητές (diSessa, 2013; Panagiotaki et al., 2006a; Straatemeier et al., 2008) έχουν αποδώσει την ασυμφωνία ευρημάτων και Θεωρίας στη μεθοδολογική πανσπερμία του πεδίου, προτείνοντας οι νέες έρευνες να αξιοποιούν τα σύγχρονα εργαλεία της μεθοδολογίας της έρευνας και της στατιστικής ανάλυσης.

2. Βιβλιογραφία

- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the Mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Boujaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689–704. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280806>
- Brown, D. E. (1995). Students' Conceptions – Coherent or Fragmented? And What Difference Does It Make? In *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching* (pp. 1–17). San Francisco.
- Brown, D. E., & Hammer, D. (2008). Conceptual Change in Physics. *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 127–154. <https://doi.org/10.4324/9780203154472.ch6>
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In Lawrence & E. Associates (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257–291). Hillsdale, NJ.
- Carey, S. (1999). Sources of conceptual change. In E. K. Scholnick, K. Nelson, S. A. Gelman, & P. H. Miller (Eds.), *Conceptual development: Piaget's legacy*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235–251. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2803_4
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73–96). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 129–186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1
- Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61–82). New York: Routledge.
- Chi, M. T. H. (2013). Two Kinds and Four Sub-Types of Misconceived Knowledge, Ways to Change it, and the Learning Outcomes. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 49–70). Abingdon: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472.ch3>
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27–43. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal Conceptual Change in Students' Understanding of Thermal Equilibrium: An Examination of the Process of Conceptual Restructuring. *Cognition and Instruction*, 24(4), 467–563. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2404_3
- Clark, D. B., D'Angelo, C. M., & Schleigh, S. P. (2011). Comparison of Students'

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

- Knowledge Structure Coherence and Understanding of Force in the Philippines, Turkey, China, Mexico, and the United States. *Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 207–261. <https://doi.org/10.1080/10508406.2010.508028>
- Clark, D. B., & Linn, M. C. (2003). Designing for Knowledge Integration: The Impact of Instructional Time. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 451–493. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204_1
- De Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445–467. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4<445::AID-SCE5>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<445::AID-SCE5>3.0.CO;2-C)
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49–70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- diSessa, A. A. (2006). A History of Conceptual Change Research: Threads and fault lines. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 88–108). New York, NY, US: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.007>
- diSessa, A. A. (2013). A Bird’s-Eye View of the “Pieces” vs. “Coherence” Controversy (from the “Pieces” side of the Fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 31–48). Abingdon: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472.ch2>
- diSessa, A. A., Elby, A., & Hammer, D. (2002). J’s Epistemological Stance and Strategies. *Intentional Conceptual Change*, 239–290. <https://doi.org/10.4324%2F9781410606716-15>
- 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>
- Driver, R. (1989). Students’ conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481–490. <https://doi.org/10.1080/0950069890110501>
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to the Concept Development in Adolscnt Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61–84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Driver, R., & Erickson, G. (1983). Theories-in-Action: Some theoretical and empirical issues in the study of students’ conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10(1), 37–60. <https://doi.org/10.1080/03057268308559904>
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Eryilmaz, A. (2002). Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students’ misconceptions and achievement regarding force and motion. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 1001–1015. <https://doi.org/10.1002/tea.10054>
- Frède, V., Nobes, G., Frappart, S., Panagiotaki, G., Troadec, B., & Martin, A. E. (2011). The acquisition of scientific knowledge: the influence of methods of questioning and analysis on the interpretation of children’s conceptions of the earth. *Infant and Child Development*, 20(6), 432–448.

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

<https://doi.org/10.1002/icd.730>

- Gellatly, A. (1997). Why the Young Child Has Neither a Theory of Mind Nor a Theory of Anything Else. *Human Development*, 40(1), 32–50.
<https://doi.org/10.1159/000278548>
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623–633.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730660412>
- Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61–98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Gilbert, J. K., Watts, D. M., & Osborne, R. J. (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. *Physics Education*, 17(2), 309. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/17/2/309>
- Gopnik, A. (1983). Conceptual and semantic change in scientists and children: why there are no semantic universals. *Linguistics*, 21(1).
<https://doi.org/10.1515/ling.1983.21.1.163>
- Gopnik, A. (1996). The Scientist as Child. *Philosophy of Science*, 63(4), 485–514.
<https://doi.org/10.1086/289970>
- Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 257–293). New York: Cambridge University Press.
- Haack, S. (2001). *Evidence and inquiry: Towards reconstruction in epistemology*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056–1065.
<https://doi.org/10.1119/1.14031>
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., Redish, E. F., Hammer, D., Elby, A., ... Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. P. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 89–120). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Harris, P. L. (2000). On not falling down to earth: Children's metaphysical questions. *Imagining the Impossible: Magical, Scientific, and Religious Thinking in Children*, 157–178.
- Harris, P. L. (2007). Trust. *Developmental Science*, 10(1), 135–138.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00575.x>
- Harris, P. L., & Koenig, M. A. (2006). Trust in testimony: How children learn about science and religion. *Child Development*, 77(3), 505–524.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00886.x>
- Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigating a Grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55–87. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199901\)36:1<55::AID-TEA5>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199901)36:1<55::AID-TEA5>3.0.CO;2-P)
- Helm, H. (1980). Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education*, 15(2), 308. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/15/2/308>
- Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, 22(1), 1–41.
<https://doi.org/10.1080/03057269308560019>
- Hunt, E., & Minstrell, J. (1994). A cognitive approach to the teaching of physics. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (p. 51–74). Cambridge, MA: MIT Press.

- Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2002). *Young Children's Thinking about Biological World*. Philadelphia, PA.: Psychology Press.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). The Changing Meanings of Force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5–61.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393–412. <https://doi.org/10.1080/0950069980200402>
- Kapon, S., & diSessa, A. A. (2012). Reasoning Through Instructional Analogies. *Cognition and Instruction*, 30(3), 261–310. <https://doi.org/10.1080/07370008.2012.689385>
- Knorr-Cetina, K. D., & Mulkay, M. J. (1983). *Science observed: perspectives on the social study of science*. London; Beverly Hills: Sage Publications.
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolution*. Chicago, Ill: University of Chicago Press.
- Kuiper, J. (1994). Student ideas of science concepts: alternative frameworks? *International Journal of Science Education*, 16(3), 279–292. <https://doi.org/10.1080/0950069940160303>
- Linder, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77(3), 293–300. <https://doi.org/10.1002/sce.3730770304>
- Linn, M. C. (2006). The Knowledge Integration Perspective on Learning and Instruction. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 243–264). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.016>
- Linn, M. C., Eylon, B.-S., & Davis, E. A. (2004). The knowledge integration perspective on learning. In M. C. Linn, E. A. Davis, & P. Bell (Eds.), *Internet environments for science education* (pp. 29–46). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Linn, M. C., & Hsi, S. (2000). *Computers, teachers, peers: science learning partners*. L. Erlbaum Associates.
- McClelland, J. A. G. (1984). Alternative frameworks: Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/0140528840060102>
- McClelland, J. A. G. (1985). Misconceptions in mechanics and how to avoid them. *Physics Education*, 20(4), 159–162. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/305>
- McCloskey, M. (1983a). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122–131.
- McCloskey, M. (1983b). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 299–323). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Miller, K. F., & Stigler, J. W. (1987). Counting in Chinese: Cultural variation in a basic cognitive skill. *Cognitive Development*, 2(3), 279–305. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(87\)90091-8](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(87)90091-8)
- Minstrell, J. (1982). Explaining the “at rest” condition of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10–14.
- Minstrell, J. (1989). Teaching science for understanding. In L. B. Resnick & L. E. Klopfer (Eds.), *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research* (pp. 129–149). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Miura, I. T., Kim, C. C., Chang, C.-M., & Okamoto, Y. (1988). Effects of Language Characteristics on Children's Cognitive Representation of Number: Cross-National Comparisons. *Child Development*, 59(6), 1445.

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

<https://doi.org/10.2307/1130659>

- Nobes, G., Martin, A. E., & Panagiotaki, G. (2005). The development of scientific knowledge of the Earth. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(1), 47–64. <https://doi.org/10.1348/026151004x20649>
- Nobes, G., Moore, D. G., Martin, A. E., Clifford, B. R., Butterworth, G., Panagiotaki, G., & Siegal, M. (2003). Children's understanding of the earth in a multicultural community: mental models or fragments of knowledge? *Developmental Science*, 6(1), 72–85. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00257>
- Nobes, G., & Panagiotaki, G. (2007). Adults' representations of the Earth: Implications for children's acquisition of scientific concepts. *British Journal of Psychology*, 98(4), 645–665. <https://doi.org/10.1348/000712607X178119>
- 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>
- Novak, J. D. (1977). *A Theory of Education*. Ithaca: Cornell University Press.
- Özdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(4), 351–361. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75414>
- Özdemir, G., & Clark, D. B. (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>
- Panagiotaki, G., Nobes, G., & Banerjee, R. (2006a). Children's representations of the earth: A methodological comparison. *British Journal of Developmental Psychology*, 24(2), 353–372. <https://doi.org/10.1348/026151005X39116>
- Panagiotaki, G., Nobes, G., & Banerjee, R. (2006b). Is the world round or flat? Children's understanding of the earth. *European Journal of Developmental Psychology*, 3(2), 124–141. <https://doi.org/10.1080/17405620500397732>
- Panagiotaki, G., Nobes, G., & Potton, A. (2009). Mental models and other misconceptions in children's understanding of the earth. *Journal of Experimental Child Psychology*, 104(1), 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.10.003>
- Parnafes, O. (2012). Developing Explanations and Developing Understanding: Students Explain the Phases of the Moon Using Visual Representations. *Cognition and Instruction*, 30(4), 359–403. <https://doi.org/10.1080/07370008.2012.716885>
- Pines, A. L., & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Science Education*, 70(5), 583–604. <https://doi.org/10.1002/sce.3730700510>
- Pope, M., & Gilbert, J. K. (1983). Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Education*, 67(2), 193–204. <https://doi.org/10.1002/sce.3730670208>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Preece, P. F. W. (1984). Intuitive science: Learned or triggered? *European Journal of Science Education*, 6(1), 7–10. <https://doi.org/10.1080/0140528840060103>
- Reif, F. (1987). Interpretation of scientific or mathematical concepts: Cognitive issues and instructional implications. *Cognitive Science*, 11(4), 395–416. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(87\)80014-9](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(87)80014-9)

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. New York: Oxford University Press.
- Rusanen, A. M., & Pöyhönen, S. (2013). Concepts in Change. *Science and Education*, 22(6), 1389–1403. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9489-x>
- Samarapungavan, A., Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1996). Mental models of the earth, sun, and moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, 11(4), 491–521. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(96\)90015-5](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(96)90015-5)
- Schneider, M., & Hardy, I. (2013). Profiles of inconsistent knowledge in children's pathways of conceptual change. *Developmental Psychology*, 49(9), 1639–1649. <https://doi.org/10.1037/a0030976>
- Schoultz, J., Säljö, R., & Wyndhamn, J. (2001). Heavenly talk: Discourse, artifacts, and children's understanding of element ... *Human Development*, 44, 103–118.
- Sherin, B. L., Krakowski, M., & Lee, V. R. (2012). Some assembly required: How scientific explanations are constructed during clinical interviews. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 166–198. <https://doi.org/10.1002/tea.20455>
- Shweder, R. A., Goodnow, J. J., Hatano, G., LeVine, R. A., Markus, H. R., & Miller, P. J. (2007). The Cultural Psychology of Development: One Mind, Many Mentalities. In R. M. Lerner (Ed.), *Handbook of Child Psychology, Vol.1: Theoretical Models of Human Development* (pp. 865–937). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0113>
- Siegal, M., Butterworth, G., & Newcombe, P. A. (2004). Culture and children's cosmology. *Developmental Science*, 7(3), 308–324. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00350.x>
- Siegal, M., Nobes, G., & Panagiotaki, G. (2011). Children's knowledge of the Earth. *Nature Geoscience*, 4(3), 130–132. <https://doi.org/10.1038/ngeo1094>
- Smith, C., Maclin, D., Grosslight, L., & Davis, H. (1997). Teaching for Understanding: A Study of Students' Preinstruction Theories of Matter and a Comparison of the Effectiveness of Two Approaches to Teaching About Matter and Density. *Cognition and Instruction*, 15(3), 317–393. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1503_2
- Solomon, J. (1993). The social construction of children's scientific knowledge. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds.), *Children's Informal Ideas in Science* (pp. 85–101). London, UK: Routledge.
- Southerland, S. A., Abrams, E., Cummins, C. L., & Anzelmo, J. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: Conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85(4), 328–348. <https://doi.org/10.1002/sce.1013>
- 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., & Jansen, B. R. J. (2008). Children's knowledge of the earth: A new methodological and statistical approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(4), 276–296. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.03.004>
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Dusch & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147–176). Albany, NY: SUNY Press.
- Sutton, C. R. (1980). The learner's prior knowledge: A critical review of techniques for probing its organization. *European Journal of Science Education*, 2(2), 107–

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). *Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες*

120. <https://doi.org/10.1080/0140528800020202>

- Taber, K. S. (1995). Development of Student Understanding: A case study of stability and lability in cognitive structure. *Research in Science & Technological Education*, 13(1), 89–99. <https://doi.org/10.1080/0263514950130108>
- Taber, K. S. (2000). Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 22(4), 399–417. <https://doi.org/10.1080/095006900289813>
- Taber, K. S. (2008). Conceptual resources for learning science: Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1027–1053. <https://doi.org/10.1080/09500690701485082>
- Taber, K. S., & García-Franco, A. (2010). Learning processes in chemistry: Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 99–142. <https://doi.org/10.1080/10508400903452868>
- Thaden-Koch, T. C., Dufresne, R. J., & Mestre, J. P. (2006). Coordination of knowledge in judging animated motion. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(2), 020107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020107>
- Thagard, P. R. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2010). The Effect of Three Cognitive Variables on Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter and its Changes of State. *International Journal of Science Education*, 32(8), 987–1016. <https://doi.org/10.1080/09500690902893605>
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2012). A probabilistic model for students' errors and misconceptions on the structure of matter in relation to three cognitive variables. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(4), 777–802. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9288-x>
- Tytler, R. (1998). The nature of students' informal science conceptions. *International Journal of Science Education*, 20(8), 901–927. <https://doi.org/10.1080/0950069980200802>
- Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205–221. <https://doi.org/10.1080/0140528790010209>
- Vosniadou, S. (1992). Knowledge Acquisition and Conceptual Change. *Applied Psychology*, 41(4), 347–357. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1992.tb00711.x>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Eds.) (pp. 353–368). Springer US.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in Learning and Instruction. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 11–30). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472.ch1>
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental Models of the Day / Night Cycle.

Βαϊοπούλου Χ.-Π. (2018). Συνεκτικά νοητικά μοντέλα και κατακερματισμένη γνώση: Μεθοδολογικά ζητήματα στην έρευνα για την κατανόηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες

- Cognitive Science*, 18, 123–183. <https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801>
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213–1230. <https://doi.org/10.1080/0950069980201004>
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2005). Developmental shifts in children's categorization of the earth. In S. Vosniadou, D. Kayser, & A. Protopapas (Eds.), *Proceedings of the Second European Cognitive Science Conference (EuroCogSci '07), Delphi, Hellas* (pp. 2325–2330). Hove, East Sussex [England]; New York: L. Erlbaum Associates.
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2014). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science & Education*, 23(7), 1427–1445. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9640-3>
- Vosniadou, S., Skopeliti, I., & Ikospentaki, K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, 19(2), 203–222. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2003.12.002>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wagner, J. F. (2006). Transfer in Pieces. *Cognition and Instruction*, 24(1), 1–71. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2401_1
- Wagner, J. F. (2010). A Transfer-in-Pieces Consideration of the Perception of Structure in the Transfer of Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 19(4), 443–479. <https://doi.org/10.1080/10508406.2010.505138>
- Watts, D. M. (1983a). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, 5(2), 217–230. <https://doi.org/10.1080/0140528830050209>
- Watts, D. M. (1983b). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213–217. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/18/5/307>
- Watts, D. M., & Gilbert, J. K. (1983). Enigmas in School Science: Students' conceptions for scientifically associated words. *Research in Science & Technological Education*, 1(2), 161–171. <https://doi.org/10.1080/0263514830010204>
- Wellman, H. M. (1990). *The Child's Theory of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wellman, H. M., & Gelman, S. A. (1992). Cognitive Development: Foundational Theories of Core Domains. *Annual Review of Psychology*, 43(1), 337–375. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.43.020192.002005>
- Wellman, H. M., & Gelman, S. A. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: Volume 2: Cognition, perception, and language*. (5th ed., pp. 523–573). Hoboken, NJ, US: John Wiley & Sons Inc.
- Wertsch, J. V. (1997). *Mind as Action*. New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195117530.001.0001>
- Wiser, M., & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 267–297). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893–902. <https://doi.org/10.1039/c7rp00135e>