

# Οι απόψεις του F. Halbwachs για τη φύση της ‘εξήγησης’ στη φυσική και οι συνέπειές τους για τη σχολική εκδοχή της

**Δημήτρης Κολιόπουλος**

*Πανεπιστήμιο Πατρών*

---

## Εισαγωγή

Το έργο του Francis Halbwachs υπήρξε πολύμορφο και ενδιαφέρον. Ως θεωρητικός φυσικός και μαθητής του De Broglie, εντάσσεται στην ομάδα του Ινστιτούτου Henri Poincaré που εδρεύει στο Παρίσι με κύριο αντικείμενο μελέτης τη σχετικιστική κβανική μηχανική (Halbwachs, 1960). Παράλληλα, εξαιτίας της αντιπαλότητας που αναπτύσσει ανάμεσα στις απόψεις της ομάδας των Παρισίων και σ’ αυτές της σχολής της Κοπεγχάγης, οδηγείται στην ενασχόληση με ζητήματα ιστορίας και επιστημολογίας της φυσικής λαμβάνοντας καθαρά αντι-θετικιστικές θέσεις για τη φύση και τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής γνώσης. Οι μαρξιστικές του καταβολές βοηθούν σε αυτό (Halbwachs, 1949). Πολύ αργότερα, επικοινωνεί με το Κέντρο Γενεικής Επιστημολογίας της Γενεύης και γίνεται ένας από τους πιο στενούς συνεργάτες του Jean Piaget. Ο ίδιος ο Piaget, προλογίζοντας το σημαντικό έργο του *Η φυσική σκέψη στο παιδί και στον επιστήμονα* (Halbwachs, 1974), τον θεωρεί πολύτιμο συνεργάτη στις έρευνες που διεξάγονται εκεί και παρατηρεί ότι «όχι μόνο δεν τον απωθεί ο στοιχειώδης και προσεγγιστικός χαρακτήρας των ψυχογενετικών μελετών, πράγμα αξιοσημείωτο για έναν επαγγελματία φυσικό, αλλά συνοδεύει τους ερευνητές μας στα σχολεία για να παρατηρήσει ο ίδιος τα παιδιά και να υποβάλλει με την ευκαιρία νέα ερωτήματα» (ό.π., σελ. 8). Και ο Piaget συνεχίζει για να αποδώσει με την επόμενη φράση την κατακλείδα του έργου του Halbwachs μέσω του οποίου καταξιώνεται ως πρωτοπόρος στη μελέτη της φύσης και των χαρακτηριστικών της συγκρότησης της σχολικής γνώσης των φυσικών επιστημών: «Φυσικός ο οποίος έγινε επιστημολόγος, επιστημολόγος που έγινε ψυχολόγος, δεν σταμά-

τισε εκεί και, παιδαγωγός στη ψυχή, γρήγορα κατασκεύασε ένα σχέδιο δυνατών ερευνών στο πεδίο της διδακτικής και κατάφερε, τον τελευταίο καιρό, να συγκροτήσει, στο πανεπιστήμιο της Provence, ένα κέντρο μεθοδολογίας της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, αφιερώνοντας έτσι τον εαυτό του σε ένα από τα πιο χρήσιμα σήμερα έργα και κατορθώνοντας να επικεντρώσει το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών ή των μελλοντικών εκπαιδευτικών σε ένα σύμπλεγμα αλληλεξαρτώμενων παιδαγωγικών, ψυχολογικών και επιστημολογικών προβλημάτων» (ό.π., σελ. 8). Στον Halbwachs, εξ άλλου, είναι δυνατόν να αποδώσουμε τα πρώτα βήματα της συγκρότησης ενός θεωρητικού πλαισίου για τη μελέτη της σχολικής εκδοχής της επιστήμης μέσω της εισαγωγής της διάκρισης της «φυσικής του παιδιού», της «φυσικής του εκπαιδευτικού» από τη «φυσική του φυσικού» (Halbwachs, 1975).

Αυτή ακριβώς την όψη του ώριμου έργου του Halbwachs μας ενδιαφέρει να αναπτύξουμε στην παρούσα εργασία. Θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε την αξία που έχουν οι απόψεις του σχετικά με ορισμένα επιστημολογικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής γνώσης στο σχολιασμό των σύγχρονων ερευνών της Διδακτικής των φυσικών επιστημών, καθώς και στην ανάλυση και το σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών φυσικής στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να περιγράψουμε τα βασικά σημεία των απόψεών του για τη φύση και τα χαρακτηριστικά της 'εξήγησης' στη φυσική και, αφού οχολιάσουμε υπό το πρίσμα τους τις έρευνες για τις νοητικές παραστάσεις που έχουν οι μαθητές για τα φυσικά φαινόμενα και τις έννοιες φυσικής στον τομέα της μηχανικής, να προτείνουμε πλαίσια δυνατών ανασυγκροτήσεων των προγραμμάτων σπουδών που προκύπτουν από τη σύνδεση των απόψεων Halbwachs με τα πορίσματα αυτών των ερευνών.

## Οι απόψεις του F. Halbwachs για τη φύση της 'εξήγησης' στη φυσική

### *Οι μορφές εξήγησης στην ιστορία των φυσικών επιστημών*

Οι αντιθετικιστικές θέσεις του Halbwachs τον οδηγούν να συσχετίσει την έννοια της 'εξήγησης' στις φυσικές επιστήμες με την απόδοση 'νοήματος' στην επιστημονική γνώση. Χρησιμοποιεί για αυτό μια δομιστική, γενετική προσέγγιση η οποία εστιάζεται στην ιστορική ανάλυση της έννοιας της εξήγησης στον τομέα των φυσικών επιστημών. Η ανάλυση αυτή οδηγεί σε μια κατηγοριοποίηση των μορφών εξήγησης που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες ιστορικές περιόδους. Η περί ου ο λόγος κατηγοριοποίηση καταδεικνύει ότι η μορφή και η δομή της έννοιας της εξήγησης διαφέρει από τη μία ιστορική περίοδο στην άλλη και γι' αυτό ο τύπος εξήγησης σε μια ιστορική περίοδο εμφανίζεται στην επόμενη περίοδο είτε ως απλή ταυτολογία είτε ως μη κατανοήσιμος (Halbwachs, 1973). Ο Halbwachs διακρίνει τρεις μεγάλες κατηγορίες εξηγήσεων: (α) την 'ομογενή' εξήγηση, (β) την 'ετερογενή' ή 'αιτιακή' εξήγηση και (γ) τη 'βαθυγενή' εξήγηση. Παραθέτουμε ένα εκτεταμένο απόσπασμα από το βασικό κείμενο του Halbwachs *Η ιστορία της εξήγησης στη φυσική* το οποίο αποδίδει με τη μορφή εξαιρετικών παραδειγμάτων τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων κατηγοριών: «Ας ξεκινήσουμε με ένα παράδειγμα το οποίο αναφέρεται στην πίεση των αερίων. Ας

θεωρήσουμε, καταρχάς, το πείραμα του Torricelli σχετικά με την ανύψωση του υδραργύρου μέσα στον 'βαρομετρικό σωλήνα' και με την εξήγηση που προτάθηκε πρώτα από τον ίδιο τον Torricelli και κατόπιν από τον Pascal. Η εμφάνιση ενός κενού χώρου μέσα στο σωλήνα οδήγησε τον Torricelli να υπερβεί το αριστοτελικό παράδειγμα της 'απέχθειας του κενού από τη φύση'. Έτσι, αν αποδεχθούμε ότι μέσα στο βαρομετρικό σωλήνα δεν υπάρχει τίποτε, τότε η υψηλότερη επιφάνεια του υδραργύρου δεν είναι δυνατόν να υφίσταται καμία δράση. Αντιθέτως, το άλλο επίπεδο βρίσκεται σε επαφή με τον 'ελεύθερο αέρα' και έτσι θα πρέπει να αποδώσουμε την ανύψωση του υδραργύρου στη δράση του αέρα. Η φύση αυτής της δράσης συγκεκριμενοποιήθηκε από τον Pascal μέσω μιας συσκευής όπου το εσωτερικό δοχείο είναι κλεισμένο, εγκλωβίζοντας ορισμένο όγκο αέρα. Μπορούμε, συνεπώς, να συμπίεσουμε ή να αραιώσουμε αυτόν τον 'εγκλωβισμένο' αέρα και να δείξουμε ότι είναι πράγματι ο αέρας που, μέσω της 'ελαστικής' πίεσης, καθορίζει το ύψος του υδραργύρου μέσα στο σωλήνα. Η εξήγηση της ανύψωσης του υδραργύρου με τη δράση του αέρα διατυπώνεται με τρόπο ώστε το αποτέλεσμα που σχετίζεται με ένα σώμα (παθητικός παράγων - patient) να αποδίδεται σε μια αιτία που σχετίζεται με ένα άλλο σώμα (ενεργός παράγων - agent). Θα ονομάσουμε αυτό τον τύπο της εξήγησης 'ετερογενή' εξήγηση. Ας θεωρήσουμε τώρα την εξήγηση που δόθηκε από τον Pascal μέσω της ίδιας της πίεσης του 'ελεύθερου αέρα' η οποία εξασκείται στην εσωτερική επιφάνεια του υδραργύρου. Επαναλαμβάνοντας και γενικεύοντας την απόδειξη που δόθηκε από τον Στενίη τον 16ο αιώνα για την πίεση στα υγρά, αποδεικνύει ότι σε δύο διαφορετικά υψόμετρα οφείλουμε να παρατηρήσουμε δυο διαφορετικές τιμές πίεσης και ότι η διαφορά αυτή οφείλεται στην βαρύτητα του αέρα (κάτι που επιβεβαιώθηκε με το λεγόμενο πείραμα του Puy-de-Dome). Στην απόδειξη χρησιμοποιείται ένας φανταστικός κατακόρυφος κύλινδρος που είναι φτιαγμένος από υλικό ίδιου ειδικού βάρους με αυτό του αέρα και ο οποίος βρίσκεται σε ισορροπία κάτω από την επίδραση αφ' ενός του βάρους του και αφ' ετέρου των πιεστικών δυνάμεων που εξασκούνται από τον αέρα. Καταλήγει σε μια σχέση ανάμεσα στην κατακόρυφη μεταβολή της πίεσης και του ειδικού βάρους του αέρα, δηλαδή μιας σχέσης μεταξύ δύο ιδιοτήτων του ίδιου μέσου σε ένα μάλιστα σημείο του. Δεν μπορούμε πλέον εδώ να διακρίνουμε ένα ενεργό και ένα παθητικό παράγοντα, ένα αίτιο και ένα αποτέλεσμα, [...]. Θα μιλήσουμε για ομογενή εξήγηση. Τέλος, για να λάβουμε υπ' όψη όλες τις πλευρές και ιδιαίτερα την ποσοτική πλευρά του φαινομένου, θα πρέπει να δείξουμε πως αντιστρόφως η πίεση του αέρα καθορίζει το ειδικό του βάρος μέσω του νόμου της συμπίεσιότητας (Boyle-Marriott). Ο συγκεκριμένος νόμος, όταν διατυπώθηκε, δεν είχε εξηγητικό χαρακτήρα αφού υπήρχε αποτέλεσμα της εμπειρίας. Όμως η σύγχρονη μοριακή θεωρία (Boltzmann) επιτρέπει με τη σειρά της να δοθεί εξήγηση στο νόμο: τα κινούμενα προς όλες τις κατευθύνσεις μόρια εξασκούν στα τοιχώματα ενός δοχείου, σ' ένα έμβολο κλπ, μια πίεση η οποία απορρέει από το σύνολο των συγκρούσεών τους. Όσο περισσότερο στριμωγμένα είναι τα μόρια τόσο περισσότερες είναι οι συγκρούσεις, τόσο η πίεση είναι μεγαλύτερη και αυτός είναι ο 'λόγος ύπαρξης' του νόμου Boyle-Marriott. Η εξήγηση εδώ αναφέρεται στην μοριακή δομή η οποία αποδίδεται στο σύστημα όταν προβαίνουμε στην εις βάθος ανάλυσή του. Θα μιλήσουμε λοιπόν για βαθυγενή εξήγηση» (ό.π., σελ. 75-77).

Γενικεύοντας τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου εξήγησης, ο Halbwachs συνδέει την

έννοια της εξήγησης με την έννοια της αναπαράστασης των φυσικών συστημάτων μέσω θεωρητικών μοντέλων. Η αναπαράσταση των φυσικών συστημάτων (συνόλων καλά καθορισμένων αντικειμένων ή οντοτήτων που απομονώνουμε με τη σκέψη και τα διακρίνουμε από τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο) δεν αποτελεί απλή περιγραφή τους ούτε προέρχεται απλά από τα δεδομένα της εμπειρίας, αλλά οικοδομείται κατά τη διάρκεια μετασχηματισμών που υφίστανται τόσο τα φυσικά συστήματα (μέσω του πειραματισμού) όσο και τα θεωρητικά μοντέλα που τα αναπαριστούν (μέσω λογικομαθηματικών συλλογισμών), σε διάφορα επίπεδα τα οποία προσεγγίζουν μερικώς την πραγματικότητα, αλλά ποτέ δεν αποτελούν πιστά αντίγραφα της. Στα πλαίσια αυτά, η εξήγηση κατά τον Halbwachs αποκτά νόημα όταν υπάρχει αλλαγή στο επίπεδο οικοδόμησης ενός θεωρητικού μοντέλου κατά την οποία εγκαθιδρύεται μια νέα σχέση ανάμεσα στη δομή ενός θεωρητικού μοντέλου και τη δομή του φυσικού συστήματος που αναπαριστά όπως αυτή αποκαλύπτεται στο εμπειρικό επίπεδο (Halbwachs, 1973, 1974).

Με βάση τα προηγούμενα, η 'ετερογενής' ή 'αιτιακή' εξήγηση συνίσταται στο να εισάγει τη δράση του εξωτερικού κόσμου στο φυσικό σύστημα που έχουμε καθορίσει<sup>1</sup>. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να καθορισθεί ένας παθητικός παράγων, που είναι το υπό μελέτη φυσικό σύστημα, και ένα ενεργητικός παράγων που είναι ο εξωτερικός κόσμος. Οι αλλαγές που συμβαίνουν στον ενεργητικό παράγοντα ερμηνεύονται ως αιτία των αλλαγών που συμβαίνουν στον παθητικό παράγοντα (αποτελέσμα). Η πλέον στοιχειώδης μορφή σχέσης αιτίου - αποτελέσματος είναι η λεγόμενη *απλή αιτιακή εξήγηση* όπου η μεταβολή ενός χαρακτηριστικού του εξωτερικού κόσμου προκαλεί τη μεταβολή ενός αντίστοιχου χαρακτηριστικού του συστήματος. Η απλή αιτιακή εξήγηση συνήθως συνοδεύεται από τον καθορισμό των συνθηκών οι οποίες είναι δυνατόν να επιτρέπουν τη δράση της αιτίας. Για παράδειγμα, στην αιτιακή εξήγηση της σύνθεσης του νερού, το σύστημα του μίγματος οξυγόνου και υδρογόνου είναι η αιτία παραγωγής του νερού. Η αιτία αυτή είναι αναγκαίος αλλά όχι επαρκής παράγων για να δημιουργηθεί ένα αποτέλεσμα και για αυτό λαμβάνουμε υπ' όψη μας τις ενδεχόμενες συνθήκες παραγωγής του που μπορεί να είναι η τοπική θέρμανση ή κάποιος άλλος καταλύτης. Στην περίπτωση όπου το αποτέλεσμα μιας αιτίας είναι δυνατόν να δημιουργήσει με τη σειρά του ένα άλλο αποτέλεσμα κ.ό.κ. μιλούμε για *γραμμική αιτιότητα* κατά την οποία συγκροτείται αιτιακή αλυσίδα απλών αιτιακών εξηγήσεων. Η κίνηση ενός σιδερομαγνητικού υλικού κοντά σ' ένα ηλεκτρομαγνήτη ο οποίος μαγνητίζεται όταν τεθεί σε λειτουργία ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, είναι δυνατόν να περιγραφεί με μια σειρά σχέσεων απλής αιτιότητας. Η απλή αιτιακή εξήγηση είναι συνήθως ατελής διότι πολλές φορές είναι δυνατόν η ίδια μεταβολή - αιτία να προκαλεί διαφορετικές μεταβολές - αποτελέσματα ή ακόμη το ίδιο

<sup>1</sup> Η έννοια της αιτιακής εξήγησης, σύμφωνα με τον Halbwachs, απαιτεί μια ιδιαίτερη συζήτηση σχετική με τη σημασία του χρόνου ως κριτηρίου συγκρότησης μιας σχέσης αιτιότητας (ή αιτία προηγείται του αποτελέσματος). Αν και η σχετική συζήτηση υπερβαίνει τα όρια αυτής της μελέτης, μπορούμε να αναφέρουμε ότι στην αιτιακή εξήγηση, ανάλογα με το αν τα διάφορα φυσικά συστήματα διαχωρίζονται ή όχι στο χώρο, μπορεί δύο γεγονότα της μελετώμενης αιτιακής αλυσίδας να θεωρηθούν ότι λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα ή ότι το ένα προηγείται του άλλου. Θα δείξουμε επίσης σε επόμενη ενότητα, ότι η συζήτηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζουν αιτιακές εξηγήσεις οι μαθητές.

αποτέλεσμα να προέρχεται από διαφορετικές αιτίες. Στις περιπτώσεις αυτές είτε αναζητούμε περισσότερες αιτίες, είτε χρειάζεται να υπερβούμε την απλή αιτιότητα προσεγγίζοντας άλλες μορφές εξήγησης. Ένας πιο εξελιγμένος τύπος αιτιακής εξήγησης είναι η λεγόμενη *κυκλική αιτιότητα*. Αυτή προκύπτει, για παράδειγμα, όταν παρατηρούνται φαινόμενα τα οποία αντιστοιχούν στην αντίστροφη αιτιακή σχέση μια απλής αιτιακής σχέσης. Η αντίστροφη αιτιακή σχέση είναι δυνατόν να συμβαίνει ταυτόχρονα (ρυθμιστική αιτιότητα) ή να διαδέχεται στο χρόνο την προηγούμενη αιτιακή σχέση (περιοδική αιτιότητα). Από τα πολύ ενδιαφέροντα παραδείγματα κυκλικής αιτιότητας που παραθέτει ο Halbwachs στο κείμενό του *Γραμμική και κυκλική αιτιότητα* (Halbwachs, 1971) επιλέγουμε αυτό που αναφέρεται στην εξήγηση της κίνησης ενός απλού εκκρεμούς (σελ. 81-82). Στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι η δύναμη που ασκείται στο σφαιρίδιο του εκκρεμούς μπορεί να μεταβάλλει τη κίνησή του ( $du/dt = F/m$ ) αλλά, ισοδύναμα, είναι δυνατόν να ισχυρισθούμε ότι η κίνηση του σφαιριδίου μπορεί να μεταβάλλει τη συνισταμένη δύναμη ( $F = -kx$ ). Οι λογικές δυσκολίες που χαρακτηρίζουν την κυκλική αιτιότητα (στο συγκεκριμένο παράδειγμα, π.χ., πώς είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η μεταβολή της απόστασης μέσω μιας δύναμης η οποία οφείλει να προσδιοριστεί από την απόσταση) αίρονται για το φυσικό πρόβλημα όταν υπάρξει αλλαγή στο επίπεδο του θεωρητικού μοντέλου και, συνεπώς, του τύπου της εξήγησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η λογική αντίφαση αίρεται στα πλαίσια του περισσότερο αφηρημένου μοντέλου της αναλυτικής δυναμικής (μέσω της λύσης της διαφορικής εξίσωσης  $d^2x/dt^2 = -kx/m$ ). Η κυκλική αιτιακή εξήγηση, η οποία ιστορικά καθορίζει μεγάλες περιοχές της κλασσικής φυσικής όπως η νευτώνικη μηχανική και η κλασσική θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, αποτελεί κατά τον Halbwachs ένα αναγκαίο ενδιάμεσο στάδιο που οδηγεί από την απλή αιτιακή εξήγηση, η οποία είναι μια ετερογενής εξήγηση, στην ομογενή ή τυπική εξήγηση (Halbwachs, 1971).

Στην ομογενή εξήγηση οι μεταβολές του φυσικού συστήματος εξηγούνται χωρίς να γίνεται αναφορά σε εξωτερικές αιτίες. Η έννοια της εξήγησης σ' αυτή την περίπτωση χαρακτηρίζει την εξέλιξη της κατάστασης του μελετώμενου συστήματος και περιορίζεται στην ανάδειξη μιας σχέσης ανάμεσα στις διάφορες μεταβλητές του ίδιου του συστήματος. Οι σχέσεις αυτές λαμβάνουν ένα εξηγητικό νόημα επειδή αναδεικνύουν ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως η απλότητα της περιγραφής του, η συμμετρία της δομής του ή η ύπαρξη ενός αμετάβλητου χαρακτηριστικού του κατά τη διάρκεια διαφόρων μετασχηματισμών που υφίσταται το σύστημα. Τυπικές περιπτώσεις ομογενούς εξήγησης αποτελούν η σχέση που περιγράφει την κίνηση ενός σώματος κατά την ελεύθερη πτώση ή γενικότερα οποιαδήποτε σχέση της κινηματικής, καθώς και η περιγραφή της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κυκλώματος μέσω των νόμων διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου και της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ο τρίτος τύπος εξήγησης, η βαθυγενής εξήγηση, συνίσταται στην αναφορά σε ένα βαθύτερο επίπεδο ανάλυσης όπου η περιγραφή των μεταβολών του συστήματος καθίσταται περισσότερο εκλεπτυσμένη και γίνεται με τη χρήση νέων, ποιοτικά διαφορετικών, μεταβλητών. Η εξηγητική αξία των σχέσεων που περιγράφονται με τις νέες αυτές μεταβλητές συνίσταται στο ότι οι περιγραφόμενες σχέσεις σε αυτό το επίπεδο λαμβάνουν υπ' όψη τους τι συμβαίνει στο αμέσως προηγούμενο επίπεδο αναπαράστασης της πραγματικότητας, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται με αυτή την αναπαράσταση να ενσωμα-

τωθούν στο ίδιο θεωρητικό πλαίσιο νέα φαινόμενα όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση της μοριακής θεωρίας της ύλης η οποία επιτρέπει όχι μόνο να εξηγηθούν οι νόμοι των αερίων αλλά παράλληλα και οι νόμοι της κίνησης Brown, της διάχυσης του φωτός μέσα σε ομογενή ρευστά κλπ (Halbwachs, 1971).

### *Η σχέση των μορφών εξήγησης με τη σκέψη των παιδιών*

Όπως ήδη αναφέρθηκε προηγουμένα, ο Halbwachs συνεργάστηκε στενά με το Κέντρο Γενετικής Επιστημολογίας της Γενεύης και με τον ίδιο τον Piaget. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας, προχώρησε στη συσχέτιση των διαφόρων τύπων εξήγησης στις φυσικές επιστήμες με τα διάφορα εξηγητικά οχήματα που αναπτύσσουν τα παιδιά κατά τη διάρκεια των τεσσάρων σταδίων ανάπτυξης της παιδικής νοημοσύνης, όπως αυτά καθορίστηκαν από τον Piaget, και γενικότερα με τη ψυχολογική διάσταση της γνώσης (Halbwachs, 1974, 1981). Ο Halbwachs συνδέει την έννοια της εξήγησης στο επιστημολογικό επίπεδο με την έννοια της κατανόησης στο ψυχολογικό επίπεδο και ισχυρίζεται ότι η κατανόηση του φυσικού κόσμου από τα παιδιά, μέσω της δράσης των υποκειμένων στα αντικείμενα και του μετασχηματισμού αυτών των δράσεων σε λογικομαθηματικά οχήματα, συμβαίνει κυρίως μέσω της ετερογενούς εξήγησης. Η ετερογενής εξήγηση αποτελεί τον προνομιακό τρόπο αναπαράστασης της φυσικής πραγματικότητας στα παιδιά (Halbwachs, 1971, σελ. 48 και 111). Με βάση τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί στο Κέντρο Γενετικής Επιστημολογίας, ισχυρίζεται ότι η κυκλική αιτιακή εξήγηση, η οποία μπορεί να παίξει το ρόλο μιας ενδιάμεσης γνώσης ανάμεσα σ' ένα ετερογενές εξηγητικό οχήμα και σ' ένα μεγαλύτερης εξηγητικής αξίας ομογενές οχήμα, δεν εμφανίζεται παρά μετά την ηλικία των 13 ετών (ό.π., σελ. 110). Παραδέχεται, επίσης, ότι, σε πολύ λιγότερες περιπτώσεις, μπορεί κανείς να συναντήσει και ομογενή εξηγητικά οχήματα όπως όλα αυτά που σχετίζονται με την απόκτηση της έννοιας της διατήρησης (π.χ., η οικοδόμηση της διατήρησης του οχήματος σε ένα κομμάτι πλαστελίνης που συμβαίνει όχι μέσω μιας άμεσης παρατήρησης αλλά μιας *a priori* ιδέας η οποία γεννιέται ξαφνικά) ή ακόμη και βαθυγενή εξηγητικά οχήματα (π.χ., η οικοδόμηση της αντίληψης ότι η ζάχαρη που διαλύεται σε μια ποσότητα νερού χωρίζεται σε όλο και μικρότερα κομμάτια που καταλήγουν να γίνουν αόρατα) (ό.π., σελ. 48-49). Επισημαίνει, επίσης, ότι ορισμένες ιδέες των παιδιών οι οποίες φαίνεται να ταιριάζουν στο ομογενές εξηγητικό οχήμα, όπως για παράδειγμα η χρήση της έννοιας της δύναμης (ή φόρας) όταν επιχειρούν να περιγράψουν τις μεταβολές κίνησης δύο σφαιρών που συγκρούονται, ανήκουν μάλλον στο ετερογενές (αιτιακό) εξηγητικό οχήμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα παιδιά αντιλαμβάνονται τη 'δύναμη - φόρα' όχι ως κατάσταση του συστήματος, αλλά ως αιτία της κίνησης ενός από τα σώματα<sup>2</sup> (Halbwachs, 1974).

Αποδεχόμενος ο Halbwachs τον παραλληλισμό ανάμεσα στο να εξηγείς, στο επιστημολογικό επίπεδο, και στο να κατανοείς, δηλαδή, να αποδίδεις σημασίες (significations)

<sup>2</sup> Στο επιστημολογικό επίπεδο, η έννοια αυτή είναι δυνατόν να αντιστοιχηθεί με τις έννοιες της ορμής και της κινητικής ενέργειας οι οποίες εντάσσονται σε ένα τύπο ομογενούς εξήγησης του φαινομένου. Η εξηγητική λειτουργία του σχετικού θεωρητικού μοντέλου προκύπτει από την ανάδειξη του χαρακτηριστικού της διατήρησης αυτών των οντοτήτων κατά τη διάρκεια των μετασχηματισμών που υφίσταται το φυσικό σύστημα.

και λογικές αιτίες (*raisons d'être*) στις μεταβολές που υφίστανται τα φυσικά συστήματα, στο ψυχολογικό επίπεδο, όχι μόνο προσπαθεί να ερμηνεύσει τα παιδικά εξηγητικά σχήματα, αλλά καταλήγει και σε ιδιαίτερες ενδιαφέροντα συμπεράσματα για τις σημασίες που είναι δυνατόν να αποδοθούν στις έννοιες με τις οποίες κατασκευάζονται τα διάφορα θεωρητικά μοντέλα της φυσικής, στο επίπεδο της ιστορικής τους ανάπτυξης. Έτσι, για το θεμελιώδη νόμο της μηχανικής ισχυρίζεται ότι η σχέση αυτή «δεν αποτελεί μόνο μια μαθηματική σχέση ανάμεσα σε δύο διανύσματα, αλλά εμπεριέχει κυρίως μια αιτιακή σημασία σύμφωνα με την οποία η δύναμη είναι η αιτία και η επιτάχυνση (δηλαδή, η κίνηση) είναι το αποτέλεσμα. [...] είναι ξεκάθαρο ότι αν και μόνη η μαθηματική έκφραση επιτρέπει τη λύση του θεωρητικού προβλήματος της κίνησης, αντιθέτως, στο ψυχολογικό επίπεδο, η αιτιακή σημασία καθίσταται αναγκαία για τη κατανόσή της» (Halbwachs, 1981, σελ. 210). Παρ' όλο, επίσης, που είναι δυνατός ο καθορισμός της δύναμης μέσω της κίνησης (όπως συνέβη με τον προσδιορισμό από τον Νεύτωνα της δύναμης που εξασκεί ο ήλιος στους πλανήτες εκκινώντας από τις εξισώσεις κίνησης των πλανητών του Κέπλερ), ο αντίστροφος προσδιορισμός εμφανίζει πάντοτε ένα διαφορετικό γνωστικό status. «Με ευκολία θα πούμε ότι ο νόμος της δύναμης [ $F = m\gamma$ ] είναι η λογική αιτία του νόμου της κίνησης [ $\gamma = F/m$ ] και όχι το αντίθετο» (ό.π., σελ. 212). Τέλος, το παράδειγμα που σχετίζεται με την περιγραφή της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κυκλώματος είναι ακόμη πιο κατατοπιστικό: «Ας παρατηρήσουμε τον μη αιτιακό χαρακτήρα αυτού του συστήματος προτάσεων [αναφέρεται στις σχέσεις που περιγράφουν την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου και της ηλεκτρικής ενέργειας στο κύκλωμα]. Αν θα θέλαμε όμως να αναδείξουμε μια αιτιότητα (και έτσι προσδώσουμε στη θεωρία μια αιτιακού τύπου σημασία) θα έπρεπε να ξεκινήσουμε από τις γεννήτριες και την παρεχόμενη από αυτές ισχύ στο κύκλωμα. Αυτή η ισχύς, που θα παίζει το ρόλο μιας 'αιτιακής ροής' ('influx causal'), θα διανεμηθεί στη συνέχεια με καθορισμένο τρόπο στα διάφορα μέρη που απαρτίζουν το κύκλωμα. Αλλά, εκτός από ορισμένες πολύ απλές περιπτώσεις, δεν θα μπορούσαμε να λύσουμε το πρόβλημα με αυτόν τον τρόπο και κατά συνέπεια δεν είναι η αιτία (cause) (η παροχή [ισχύος] από τις γεννήτριες) που είναι δυνατόν να μας παράσχει τη λογική αιτία (raison) της συγκεκριμένης λειτουργίας του συστήματος και ιδιαίτερα της κατανομής της έντασης του ρεύματος στα διάφορα σημεία του κυκλώματος» (ό.π., σελ. 215).

Στα επόμενα πρόκειται να ισχυριστούμε ότι οι απόψεις του Halbwachs για την εξήγηση στη φυσική, τόσο στο επιστημολογικό όσο και στο ψυχολογικό επίπεδο, είναι δυνατόν να αποτελέσουν αναλυτικά και συνθετικά μεθοδολογικά εργαλεία σε ένα άλλο πλαίσιο, αυτό της σύγχρονης εκδοχής της Διδακτικής των φυσικών επιστημών που ασχολείται με την εποικοδομητική προσέγγιση της μάθησης και της διδασκαλίας τους. Πιο συγκεκριμένα, θα ισχυριστούμε ότι οι απόψεις Halbwachs είναι δυνατόν αφ' ενός να εξηγήσουν ορισμένες πλευρές των σύγχρονων ερευνών για τις νοητικές παραστάσεις που έχουν οι μαθητές για τα φυσικά φαινόμενα και τις έννοιες φυσικής, καθώς και το επιστημολογικό και ψυχολογικό υπόβαθρο της έννοιας της εξήγησης στη φυσική όπως αυτό εκφράζεται στα προγράμματα διδασκαλίας της φυσικής και αφ' ετέρου να συμβάλλουν στο σχεδιασμό και την αξιολόγηση προγραμμάτων διδασκαλίας που υπερβαίνουν την παραδοσιακή αντίληψη συγκρότησης προγράμματος σπουδών φυσικής (Κολιόπουλος, 2006α).

## Οι επιπτώσεις των απόψεων του F. Halbwachs στην ανάλυση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών

Στα πλαίσια της εποικοδομητικής αντίληψης για τη μάθηση και τη διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες, έχει αναπτυχθεί εδώ και τρεις τουλάχιστον δεκαετίες ένα ερευνητικό ρεύμα που έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση των πρακτικο-βιωματικών νοητικών παραστάσεων που έχουν οι μαθητές όταν επιχειρούν να περιγράψουν αντικείμενα, γεγονότα και καταστάσεις που συναντά κανείς στο φυσικό κόσμο (Κουλαϊδής, 2001, Κόκκοτας, 2003, Ραβάνης, 2003, Κολιόπουλος, 2006α). Οι νοητικές παραστάσεις των μαθητών και η εξέλιξή τους αποτελούν γνωσιολογικά συστήματα ταξινόμησης των αντιλήψεων που εκφράζουν οι μαθητές τα οποία έχουν παραχθεί μέσα από συγκεκριμένες στρατηγικές και τεχνικές έρευνας. Η έρευνα αυτή υπερβαίνει πλέον το επίπεδο της απλής συσσώρευσης εμπειρικών δεδομένων και θεωρείται αρκετά ώριμη ώστε να επιχειρούνται έγκυρες γενικεύσεις με στόχο την αποτελεσματική χρήση τους στην ανάπτυξη κατάλληλων διδακτικών στρατηγικών στις διάφορες εκπαιδευτικές βαθμίδες. Οι απόψεις του Halbwachs είναι δυνατόν να μας βοηθήσουν αφ' ενός στην ανάλυση των πορισμάτων των σύγχρονων ερευνών, δηλαδή, στην προσπάθεια να αποδώσουμε νόημα στα αποτελέσματα αυτών των ερευνών, και αφ' ετέρου στη διατύπωση υποθέσεων σχετικών με τη διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών σε διάφορους τομείς που έχουν ήδη μελετηθεί ή υπάρχει ενδιαφέρον να μελετηθούν στο μέλλον. Στην εργασία αυτή, θα σχολιάσουμε υπό το πρίσμα των απόψεων Halbwachs τα αποτελέσματα ερευνών που προέρχονται από ένα πεδίο της φυσικής το οποίο για λόγους ιστορικούς, επιστημονικούς και κοινωνικούς αποτελεί θεμελιώδες γνωστικό αντικείμενο στα σύγχρονα προγράμματα σπουδών φυσικής: το πεδίο της μηχανικής.

Οι πρώτες έρευνες σχετικά με τη φύση και τα χαρακτηριστικά των νοητικών παραστάσεων των μαθητών διεξήχθησαν στον τομέα της μηχανικής. Οι έρευνες αυτές αποκάλυψαν μια σειρά από εναλλακτικές αντιλήψεις που εκφράζουν συχνά, επαναλαμβανόμενα και διαχρονικά οι μαθητές όταν καλούνται να περιγράψουν φαινόμενα μηχανικής όπως η κίνηση των σωμάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες και να επιλύσουν σχετικά προβλήματα τα οποία απαιτούν τη χρήση του εννοιολογικού πλαισίου της νευτωνικής δυναμικής. Ορισμένες από τις σημαντικότερες αντιλήψεις είναι (α) η παρουσία μιας δύναμης, η οποία πολλές φορές αποδίδεται στο ίδιο του κινούμενο σώμα, κατά τη διεύθυνση της κίνησης (Viennot, 1979), (β) η ανυπαρξία δύναμης όταν δεν υπάρχει κίνηση (Minstrel, 1982) και (γ) η εστίαση στη χρονική εξέλιξη του φαινομένου της κίνησης και όχι στην μεταβολή των καταστάσεων του κινούμενου συστήματος (Viennot, 1993).

Οι περισσότερες από τις προηγούμενες περιπτώσεις είναι δυνατόν να αποδοθούν στο γραμμικό αιτιακό συλλογισμό ο οποίος αντιστοιχεί στην κατά Halbwachs ετερογενή ή αιτιακή εξήγηση και μάλιστα στην πιο απλή μορφή της, την απλή αιτιακή εξήγηση όπου αποδίδεται ένα και μοναδικό αίτιο σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Μάλιστα, για τη Viennot (1993), η αιτιακή αυτή εξήγηση συνοδεύεται από την έννοια της χρονικής διαδοχής. Έτσι, στην περίπτωση των μαθητών ή φοιτητών που ισχυρίζονται ότι μια μπάλα συνεχίζει ν' ανεβαίνει μετά την εκτόξευσή της επειδή 'έχει' μια δύναμη που τη σπρώχνει προς τα πάνω, η αιτία του



φαινομένου βρίσκεται σε προηγούμενη χρονική στιγμή (η δύναμη που εξασκεί αυτός που εκτοξεύει τη μπάλα και την οποία 'απέκτησε', στη συνέχεια, η μπάλα). Η έννοια της χρονικής διαδοχής που συνοδεύει το απλό γραμμικό εξηγητικό σχήμα αποτελεί χαρακτηριστικό εμπόδιο στην ανάπτυξη ενός (α-χρονικού) εξηγητικού σχήματος που θα προσεγγίζει είτε τη κυκλική αιτιακή εξήγηση, είτε την ομογενή εξήγηση, δηλαδή τύπους εξήγησης που χαρακτηρίζουν εν πολλοίς τη δυναμική προσέγγιση των μηχανικών φαινομένων.

Από την άλλη μεριά, φαίνεται ότι υπάρχουν κατάλληλες φυσικές καταστάσεις, όπως αυτή της σύγκρουσης δύο σωμάτων (Grimellini-Tomasini et al., 1993), όπου η αντίληψη των μαθητών για τη δύναμη που 'έχει' η μία σφαίρα μπορεί να συσχετισθεί με την έννοια του έργου η οποία προκαλεί μια μεταβολή στην κίνηση της άλλης σφαίρας ή την έννοια της ώθησης η οποία μεταφέρεται σ' ένα άλλο σώμα. Και στις δύο περιπτώσεις δεν πρόκειται για την ομογενή εξήγηση η οποία αναφέρεται στη διατήρηση των μεγεθών της ενέργειας και της ορμής αντίστοιχα (την οποία δεν φαίνεται να χειρίζονται ικανοποιητικά οι μαθητές), αφού στο εξηγητικό σχήμα εμπλέκεται μια εξωτερική αιτία στο μελετώμενο φυσικό σύστημα. Η προηγούμενη καθώς και άλλες περιπτώσεις σχετικών ερευνών (McDermott, 1984, Halloun & Hestenes, 1985, McCloskey & Kargon, 1988) δείχνουν ότι στο πεδίο της μηχανικής, οι πρακτικο-βιωματικές νοητικές παραστάσεις των μαθητών που συνδέονται με τα μηχανικά φαινόμενα και ιδιαίτερα με το φαινόμενο της κίνησης παρουσιάζουν ποιοτική διαφορά από τα εξηγητικά μοντέλα της φυσικής και της παραδοσιακής σχολικής εκδοχής της. Οι θέσεις του Halbwachs για τους διαφορετικούς τύπους εξήγησης στη φυσική είναι δυνατόν να μας προσδιορίσουν σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος της ποιοτικής αυτής διαφοράς, να αποδώσουν δηλαδή νόημα στις δυσκολίες και τις δυνατότητες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν το φυσικό κόσμο. Επίσης, οι θέσεις αυτές είναι δυνατόν να λειτουργήσουν προβλεπτικά και να προκαλέσουν νέα ερευνητικά δεδομένα όπως στην περίπτωση του Besson (2004) ο οποίος, συγκρίνοντας αιτιακά εξηγητικά σχήματα μαθητών λυκείου με τα αντίστοιχους τύπους εξήγησης σε καταστάσεις μηχανικής στερεών και ρευστών, διαπίστωσε ότι τα εξηγητικά σχήματα των μαθητών είναι πράγματι κατά βάση αιτιακά αλλά είτε συγχέουν την πραγματική αιτία με τις συνθήκες που επιτρέπουν τη δράση της αιτίας, είτε αναγνωρίζουν ως αιτία μια άλλη οντότητα με παραπλήσια χαρακτηριστικά από αυτά της πραγματικής αιτίας (συγχέουν, για παράδειγμα την οντότητα 'δύναμη' με την οντότητα 'πίεση').

## **Οι επιπτώσεις των απόψεων του F. Halbwachs στην ανάλυση και το σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών φυσικής**

Οι θέσεις του Halbwachs φαίνεται ότι μπορούν να εξηγήσουν όχι μόνο τα πορίσματα των διαφόρων ερευνών για τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών στη μηχανική, αλλά και διάφορες διδακτικές στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς, καθώς και να συμβάλλουν στη διατύπωση γενικών υποθέσεων σχετικών με το σχεδιασμό του περιεχομένου του προγράμματος σπουδών της φυσικής και των αντίστοιχων διδακτικών παρεμβάσεων.

Μια σειρά εναλλακτικών διδακτικών προτάσεων για τη διδασκαλία της μηχανικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι δυνατόν να αξιολογηθούν όχι μόνο εμπειρικά, μέσω δηλαδή της γνωστικής προόδου που σημειώνουν οι μαθητές, αλλά και θεωρητικά μέσω της σαφούς περιγραφής του επιχειρούμενου διδακτικού μετασχηματισμού (Κολιόπουλος, 2006α), μέσω δηλαδή της σαφούς περιγραφής των επιστημολογικών, ψυχολογικών και παιδαγωγικών επιλογών του διδακτικού περιεχομένου που θεωρούνται κατάλληλες για τους μαθητές μιας συγκεκριμένης εκπαιδευτικής βαθμίδας. Ορισμένες προσεγγίσεις (Dumas-Carré, 1987, Hestenes, 1992, Lemeignan & Weil-Barais, 1994, 1997, Kácsuközzer, 2006) προτείνουν την εισαγωγή ενδιαμέσων, ποιοτικών θεωρητικών μοντέλων αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε διάφορα αντικείμενα, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν, στη συνέχεια, στη φορμαλιστική περιγραφή των φυσικών συστημάτων με τη βοήθεια της διανυσματικής οντότητας της δύναμης. Η επιλογή αυτή οδηγεί τους μαθητές να οικοδομήσουν μια αναπαράσταση της πραγματικότητας στο πειραματικό, νοητικό και συμβολικό επίπεδο μέσω υποθέσεων για την αμοιβαιότητα των επιδράσεων που έχουν τα διάφορα αντικείμενα σε άλλα. Το επιδιωκόμενο εξηγητικό σχήμα φαίνεται να σχετίζεται με το εξηγητικό σχήμα της κυκλικής αιτιότητας το οποίο ο Halbwachs θεωρεί κατάλληλο για το πέρασμα από τη γραμμική αιτιότητα σε περισσότερο εξελιγμένες μορφές εξήγησης οι οποίες απαιτούνται στη μηχανική. Όπως όμως λέει και ο ίδιος, για να οικοδομήσει ο νους το εξελιγμένο αυτό εξηγητικό σχήμα χρειάζεται και αρχάς μια μακρά άσκηση στο επίπεδο της απλής αιτιότητας (Halbwachs, 1971). Παράλληλα, όμως, οι απόψεις Halbwachs επισημαίνουν τις ιστορικές δυσκολίες για το πέρασμα από ένα τύπο εξήγησης σ' έναν άλλον τύπο εξήγησης και προσδιορίζουν τη φύση των επιστημολογικών τομών ανάμεσα σε διάφορα είδη εξήγησης (π.χ., η αλλαγή του αιτιακού εξηγητικού σχήματος της σύγκρουσης δύο σφαιρών σε ομογενές εξηγητικό σχήμα μεταβολής της κινητικής κατάστασής τους), που ενδεχομένως να έχουν ως αποτέλεσμα η μεταβολή ενός εξηγητικού σχήματος να μη μπορεί να επιτευχθεί με σωρευτικό, γραμμικό τρόπο.

Άλλοι ερευνητές (DiSessa, 1980, Hermann & Schmid, 1984) προτείνουν την εισαγωγή της έννοιας της ορμής ως εναλλακτικής προοπτικής στη διδασκαλία της μηχανικής στο εισαγωγικό επίπεδο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ο DiSessa εισάγει την έννοια της δύναμης ως το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται (ρέει) η ορμή από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο συνοδεύοντας το αντίστοιχο θεωρητικό μοντέλο με μια γραφική παράσταση όπου ορίζονται σαφώς τα διαφορετικά συστήματα που αλληλεπιδρούν, ισχυριζόμενος ότι το μοντέλο αυτό βρίσκεται πιο κοντά στις βιωματικές αντιλήψεις των μαθητών ή φοιτητών και ότι είναι δυνατόν να νοηματοδοτήσουν μέσω αυτού καλύτερα ορισμένες φυσικές καταστάσεις παρά με το φορμαλισμό του δεύτερου νόμου της νευτώνικης μηχανικής. Οι Hermann & Bruno Schmid χρησιμοποιούν την ίδια έννοια για να εξηγήσουν καταστάσεις μηχανικής ισορροπίας. Χρησιμοποιώντας τις απόψεις Halbwachs ως εργαλείο ανάλυσης των δύο προηγούμενων, αιρετικών θα έλεγε κάποιος, προσεγγίσεων, αντιλαμβάνομαστε ότι η αντικατάσταση του φορμαλισμού του δεύτερου νόμου της μηχανικής με το φορμαλισμό της μεταβολής (ροής) της ορμής συνάδει με την ανάγκη να εκμεταλλευτούμε το εξηγητικό σχήμα της απλής εξήγησης στην περίπτωση που το σχήμα αυτό μπορεί να υποβοηθήσει τις αυθόρμητες νοητικές παραστάσεις των μαθητών/φοιτητών (μια 'δύναμη'

που μεταφέρεται από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο) να εξελιχθούν σε (αιτιακά) εξηγητικά σχήματα συμβατά με τη σύγχρονη επιστημονική γνώση.

Το πεδίο της μηχανικής είναι ένα από τα πεδία όπου έχει υπάρξει μακρά εμπειριστα-μένη διερεύνηση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών και των φοιτητών. Το βασικό διαχρονικό συμπέρασμα των ερευνών αυτών είναι ότι η δομή και τα χαρακτηριστικά των εξηγητικών σχημάτων που χρησιμοποιούνται, ακόμα και μετά τη διδασκαλία, δεν αντιστοιχούν στη δομή και τα χαρακτηριστικά των εξηγήσεων που δίδονται μέσα από τα παραδοσιακά προγράμματα διδασκαλίας της μηχανικής. Περιέργως, λίγες φαίνεται να είναι οι εργασίες στο τομέα της Διδακτικής των φυσικών επιστημών που να διερευνούν τις δυνατότητες σχεδιασμού περιεχομένων και διδακτικών δραστηριοτήτων στη μηχανική οι οποίες αφ' ενός να λαμβάνουν υπ' όψη τους το βασικό αυτό συμπέρασμα και αφ' ετέρου να προσφέρουν περιεχόμενα και διδακτικές δραστηριότητες οι οποίες να οδηγούν τους μαθητές/φοιτητές στην υπέρβαση των απλοϊκών εξηγητικών τους σχημάτων. Ενδεχομένως, ένας από τους λόγους για τους οποίους συμβαίνει αυτό να είναι η αδυναμία να διαβαστούν τα πορίσματα των σχετικών ερευνών με ένα τρόπο ο οποίος να δίδει διεξοδο στο πρόβλημα του μετασχηματισμού των σχημάτων αυτών. Οι απόψεις του Halbwachs για τους διαφορετικούς τύπους εξήγησης, για τη φύση και τα χαρακτηριστικά καθ' ενός εξ αυτών, για τα ενδιάμεσα βήματα που οδηγούν σε ένα πιο εξελιγμένο τύπο εξήγησης καθώς και για τη συσχέτιση των διαφόρων αυτών τύπων με τα δυνατά εξηγητικά σχήματα που χρησιμοποιούν τα παιδιά, επειδή ακριβώς παρήχθησαν μέσα από μια αντι-εμπειριστική, ιστορική και γενετική ανάλυση, εμπειριέχουν, κατά τη γνώμη μας, τα σπέρματα μιας 'θετικής' ανάγνωσης των πορισμάτων της έρευνας για την εξέλιξη των νοητικών παραστάσεων των μαθητών και φοιτητών στη μηχανική.

Με βάση τα προηγούμενα, είναι δυνατόν να προτείνουμε πλαίσια δυνατών ανασυγκροτήσεων των προγραμμάτων σπουδών της μηχανικής που προκύπτουν από τη σύνδεση των απόψεων Halbwachs με τα πορίσματα των σχετικών ερευνών για τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών και φοιτητών:

(α) Η μετατόπιση των προγραμμάτων σπουδών μηχανικής σε μεγαλύτερες εκπαιδευτικές βαθμίδες και μάλιστα όχι τόσο στο γενικό κορμό αλλά σε επίπεδο κατεύθυνσης, καθίσταται σχεδόν αναγκαία εξ αιτίας της δραματικά μεγάλης απόστασης των εξηγητικών θεωρητικών μοντέλων από τα βιωματικά εξηγητικά σχήματα των μαθητών και φοιτητών. Ήδη αυτό γίνεται εμπειρικά σε διεθνές επίπεδο όπου τα προγράμματα του γυμνασίου έχουν αποφορτισθεί από την ύλη της μηχανικής σε μεγάλο βαθμό<sup>3</sup>, σε αντίθεση με το ελληνικό πρόγραμμα σπουδών το οποίο, μετά από μια μικρή περίοδο εξορθολογισμού του, επανήλθε στην πλέον παραδοσιακή του μορφή όπου η εισαγωγή των παιδιών του γυμνασίου στη φυσική επαφίεται στα πλέον αφηρημένα μοντέλα της μηχανικής τα οποία απαιτούν φορμαλιστικές ομογενείς εξηγήσεις<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το γαλλικό και βρετανικό προγράμματα σπουδών.

<sup>4</sup> Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το νέο πρόγραμμα σπουδών φυσικής της β' γυμνασίου και το αντίστοιχο σχολικό εγχειρίδιο.

(β) Απαιτούνται μεγάλης κλίμακας τροποποιήσεις στα περιεχόμενα και στις διδακτικές δραστηριότητες των υφισταμένων προγραμμάτων μηχανικής, τόσο στις χαμηλότερες όσο και στις υψηλότερες εκπαιδευτικές βαθμίδες. Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούν στην εισαγωγή φυσικών προς μελέτη συστημάτων τα οποία να απαιτούν, καταρχήν, την ενεργοποίηση του καιτ' εξοχίν βιωματικού εξηγητικού σχήματος που αντιστοιχεί στην απλή (γραμμική) αιτιακή εξήγηση και τη, βήμα προς βήμα, τροποποίηση του σχήματος αυτού προς περισσότερο εξελιγμένες μορφές εξήγησης<sup>5</sup>. Η ενεργοποίηση του απλού αιτιακού εξηγητικού σχήματος σε μηχανικά φαινόμενα, είναι δυνατόν να οδηγήσει στην οικοδόμηση μοντέλων ακόμη και στην προσοχολική ηλικία, όπως στην περίπτωση της οικοδόμησης από τα νήπια ενός πρόδρομου μοντέλου για την τριβή (Ravanis et al., 2007). Η εισαγωγή επίσης, τόσο στην πρωτοβάθμια όσο και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση ποιοτικών ενδιάμεσων μοντέλων, όπως αυτό της αλληλεπίδρασης που περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα, μπορεί να οδηγήσει σε θετική τροποποίηση του απλού αιτιακού εξηγητικού σχήματος. Μπορεί επίσης να επιτευχθεί, ιδιαίτερα στις μικρότερες εκπαιδευτικές βαθμίδες, η αντικατάσταση ενός μέρους του γνωστικού αντικειμένου της μηχανικής, στο οποίο κυρίαρχη εξήγηση είναι η νευτωνική δυναμική εξήγηση, με κριτήριο την εισαγωγή ενός τύπου εξήγησης που βρίσκεται κοντύτερα στα βιωματικά εξηγητικά σχήματα των μαθητών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας πρότασης είναι η μετατόπιση της μελέτης του απλού εκκρεμούς μέσω της δυναμικής ανάλυσης της κίνησης του προς μια μελέτη που ευνοεί τη χρήση απλούστερων αιτιακών σχημάτων, όπως η μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την περίοδό του (Κολιόπουλος et al., 2007).

(γ) Η ιδέα της υποβάθμισης του σημαντικού ρόλου που παίζει η μηχανική στο ελληνικό πρόγραμμα σπουδών είναι δυνατόν να συμπληρωθεί από την ιδέα της αντίστοιχης αναβάθμισης του ρόλου της μακροσκοπικής θερμοδυναμικής μέσω κυρίως του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου  $\Delta E = Q + \Sigma W_i$ . Ένα από τα επιχειρήματα για τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος από τη μηχανική στη θερμοδυναμική είναι πως το θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει τις δύο αρχές είναι δυνατόν να μετασχηματισθεί διδακτικά σε ένα μοντέλο κατάλληλο προς οικοδόμηση ακόμη και στις πιο μικρές ηλικίες: το μοντέλο των ενεργειακών αλυσίδων (Κολιόπουλος, 2006β). Το μοντέλο αυτό, εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων που διαθέτει, φαίνεται ότι είναι κατάλληλο για να προσεγγίσουν οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης τον αφηρημένο και μαθηματικοποιημένο τομέα της μηχανικής εκμεταλλευόμενοι το οικείο σε αυτούς εξηγητικό σχήμα της γραμμικής αιτιότητας (Κολιόπουλος, 1997).

<sup>5</sup> Οι απόψεις Halbwachs είναι δυνατόν να οδηγούν σε διδακτικές υποθέσεις σχετικές με την εννοιολογική συνιστώσα της σχολικής επιστημονικής γνώσης οι οποίες, όμως, αν και αναγκαίες δεν είναι επαρκείς για μια συνολική εικόνα της προτεινόμενης εναλλακτικής μορφής περιεχομένου και διδακτικών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, θα πρέπει να διατυπωθούν υποθέσεις σχετικές με τη μεθοδολογική συνιστώσα (για παράδειγμα, υποθέσεις σχετικές με το ρόλο των ερωτημάτων που τίθεναι στους μαθητές ή την εισαγωγή της υποθετικο-παραγωγικής εικόνας της επιστήμης) και την πολιτισμική συνιστώσα (για παράδειγμα, σύνδεση της σχολικής επιστημονικής γνώσης με ζητήματα της καθημερινότητας ή με την ιστορία της επιστήμης) της επιστημονικής γνώσης.

## Επίλογος

Συμβαίνει πολλές φορές τα δεδομένα που αφορούν στις έρευνες για τις νοητικές παραστάσεις των μαθητών να παράγονται χωρίς να έχουν διατυπωθεί συγκεκριμένες γνωστικές ή διδακτικές υποθέσεις, με αποτέλεσμα μια ομάδα ερευνητών να καταλήγει στο, λανθασμένο κατά τη γνώμη μας, συμπέρασμα πως το ρεύμα της διερεύνησης των νοητικών παραστάσεων των μαθητών έχει εξαντλήσει τις δυνατότητές του. Αντιθέτως, θεωρούμε ότι είναι επιτακτική ανάγκη η συνέχιση της σχετικής έρευνας, αρκεί να συνοδεύεται από σαφείς και περιεκτικές υποθέσεις για περιεχόμενα και διδακτικές δραστηριότητες που θα οδηγούν σε σαφή γνωστική πρόοδο, ιδιαίτερα στον τομέα της μηχανικής. Οι απόψεις του Halbwachs είναι δυνατόν να λειτουργήσουν καταλυτικά προς αυτή τη κατεύθυνση.

## Βιβλιογραφία

- Besson, U. (2004). Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 22, 1, 113-125.
- DiSessa, A. A. (1980). Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 5, 365-369.
- Dumas-Carré, A. (1987). La résolution de problème en physique, au lycée : le procédural: apprentissage et évaluation. Thèse de Doctorat. Université Paris VII.
- Grimellini-Tomasini, N., Pecori-Balandi B., Pacca J.L.A. & Villani A. (1993). Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, 77, 2, 169-189.
- Halbwachs, F. (1949). *Matérialisme dialectique et sciences physico-chimiques*. Editions Sociales.
- Halbwachs, F. (1960). *Théorie Relativiste des Fluides à Spin*. Gauthier-Villars.
- Halbwachs, F. (1971). Causalités linéaire et circulaire en physique. In M. Bunge, F. Halbwachs, T. Kuhn, J. Piaget & L. Rosenfeld (Eds.) *Les théories de la causalité*. Presses Universitaires de France.
- Halbwachs, F. (1973). L'histoire de l'explication en physique. In Piaget et al. (Eds.) *L'explication dans les sciences*. Flammarion, 72-102.
- Halbwachs, F. (1974). La pensée physique chez l'enfant et le savant. Delachaux et Niestlé.
- Halbwachs, F. (1975). La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'enfant. *Revue Française de Pédagogie*, 33, 19-29.
- Halbwachs, F. (1981). Significations et raisons dans la pensée scientifique. *Archives de Psychologie*, 49, 199-229.
- Halloun, I.A. & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American journal of physics*, 53, 11, 1056-1065.
- Hermann, F. & Bruno Schmid, G. (1984). Statics in the momentum current picture. *American journal of physics*, 52, 2, 146-152.

- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60, 8, 732-748.
- Κόκκοτας, Π. (2003). *Διδακτική των φυσικών επιστημών*. Αθήνα.
- Κολιόπουλος, Δ. (1997). Επιστημολογικές και διδακτικές διαστάσεις των διαδικασιών συγκρότησης αναλυτικού προγράμματος: Η περίπτωση του διδακτικού μετασχηματισμού και της μάθησης της έννοιας της ενέργειας. *ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών*.
- Κολιόπουλος, Δ. (2006α). Θέματα Διδακτικής των φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης. Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Κολιόπουλος, Δ. (2006β). Το εννοιολογικό πρότυπο των ενεργειακών αλυσίδων ως κατάλληλος διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης για την ενέργεια στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Έρευνα και Πράξη*, 18, 78-83.
- Koliopoulos, D. Dossis, S. & Stamoulis, E. (2007). The use of history of science texts in teaching science: Two cases of an innovative, constructivist approach, *The Science Education Review*, 6, 2, 44-56.
- Κουλαϊδής, Β. (Επιμ.) (2001). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Küçüközer, A. (2006). Evolution of the students' conceptual understanding in the case of a teaching sequence in mechanics: Concept of interaction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2, 1, 30-40.
- Lemaignan, G. & Weil-Barais A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16, 1, 99-120.
- Lemaignan, G. & Weil-Barais, A. (1997). Η οικοδόμηση των εννοιών στη φυσική. Η διδασκαλία της μηχανικής. Μιτση. Ν. Δαπόντες & Α. Δημητρακοπούλου. Εκδόσεις Τυπωθήτω.
- McCloskey, M. & Kargon, R. (1988). The meaning and use of historical models in the study of intuitive physics. In S. Strauss (Ed.) *Ontogeny, phylogeny and historical development*. Ablex Publishing Corp., 49-67.
- McDermott, L. C. (1984). Research in conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37, 24-32.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the 'at rest' condition of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10-14.
- Ραβάνης, Κ. (2003). Εισαγωγή στη Διδακτική των φυσικών επιστημών. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Ravanis, K., Koliopoulos, D. & Boilevin, J.M. (2007). Construction of a precursor model for the concept of rolling friction in the thought of preschool age children: A socio-cognitive teaching intervention. *Research in Science Education*, DOI 10.1007/s11165-007-9056-7.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Hermann.
- Viennot, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique, *Didaskalia*, 1, 13-27.