Τελολογικές εξηγήσεις σε ελληνικά διδακτικά συγγράμματα Χημείας

Πανδώρα Σιφνιώτη, Κατερίνα Σάλτα
ΕΚΠΑ, Τμήμα Χημείας, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΔιΧηΝΕΤ»,
pandora.sifnioti@gmail.com, ksalta@chem.uoa.gr

Περίληψη

Μέχρι την επιστημονική επανάσταση, η επιστήμη ως ορθή γνώση του κόσμου ταυτίζεται με τη σοφία των αρχαίων φιλοσόφων είτε, αργότερα, με την αυθεντία των γραφών. Με την επιστημονική επανάσταση, η απόρριψη του μυστικιστικού στοιχείου και της μεταφυσικής αποτελεί πια πυρήνα της επιστημονικής σκέψης και την ακολουθεί έως σήμερα. Ωστόσο, στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών η τελολογία εξακολουθεί να διεκδικεί έναν σημαντικό ρόλο. Η εργασία αυτή αναλύει τρόπους με τους οποίους συμβαίνει αυτό, μελετώντας δείγμα συγγραμμάτων χημείας και συζητείται η ευθύνη της για παρανοήσεις και μεταφυσικές θεωρήσεις ή/και η αρωγή της στην κατανόηση επιστημονικών εννοιών.

Abstract

Science as a source of knowledge of the world coincides with the wisdom of ancient philosophers or, later, with the verses of the Bible. However, the scientific revolution changes this view by rejecting all metaphysical elements in scientific thought, a position which is valid until today. Nonetheless, teleology still claims an important role in teaching science. This paper states the ways in which this is valid, analysing a sample of Greek chemistry textbooks regarding their "teleological approach" and then discusses if such an approach can only lead to misunderstandings or if it can be considered an ally in understanding scientific concepts.

1. Εισαγωγή

Μέχρι την επιστημονική επανάσταση ο κόσμος αποτελεί μία κλειστή, πεπερασμένη και ιεραρχικά διατεταγμένη ολότητα. Όλα γίνονται για έναν σκοπό και η επιστήμη ως ορθή γνώση του κόσμου συχνά ταυτίζεται είτε με τη σοφία των αρχαίων φιλοσόφων και ειδικά με τη φιλοσοφική προσέγγιση του Αριστοτέλη, είτε, αργότερα, με την αυθεντία των γραφών. Ωστόσο, η επιστημονική επανάσταση με ανακαλύψεις και νέες θεωρίες τόσο για το μακρόκοσμο όσο και για το μικρόκοσμο, μέσα από την πειραματική διαδικασία και με τη βοήθεια εξελιγμένων οργάνων παρατήρησης, οδηγεί την επιστήμη σε νέα μονοπάτια.
Τώρα πια «δεν αναζητούνται οι αρχικές αιτίες που δημιουργούν τα φαινόμενα, ούτε και οι όποιες αναφορές στις Γραφές σχετικά με τη δομή της φύσης θεωρούνται πως αποτελούν αναπότρεπτες αλήθειες. Όλα αυτά στοιχειοθετούν τη ρήξη με την αρχαιότητα» (Γαβρόγλου 2001, σελ. 54). Η απόρριψη του μυστικιστικού στοιχείου και της μεταφυσικής στις επιστημονικές εξηγήσεις εξακολουθεί να αποτελεί πυρήνα της επιστημονικής σκέψης. Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών τον 21ο αιώνα όμως δεν είναι πλήρως απαλλαγμένη από μεταφυσικά - τελολογικά στοιχεία. Η τελολογία εξακολουθεί να διεκδικεί έναν ρόλο σε

αυτήν «κυριεύοντας» τους μαθητές, «ξεγελώντας» τους καθηγητές και «εισχωρώντας» σε διδακτικά εγχειρίδια.
Σύμφωνα με τη θεωρία της τελολογίας[1], «τα πάντα στον κόσμο εξηγούνται βάσει του τέλους τους ή της σκοπιμότητας που τα καθένα τους εξυπηρετεί» (Πελεγρίνης 2004, σελ. 572). Στον αντίποδα της τελολογίας βρίσκεται η μηχανοκρατία: τα πάντα στον κόσμο εξηγούνται κατά τρόπο μηχανικό, βάσει της αρχής της αιτιότητας.

Τελολογία στη διδασκαλία και τη μάθηση της χημείας

Κατά την αξιολόγηση των απαντήσεων των μαθητών συνήθως ελέγχεται η ορθότητα ή μη των απαντήσεων που δίνουν. Σπάνια ωστόσο μελετάται το νόημα ή οι γνωσιακές και γνωσιολογικές επιπλοκές των ίδιων των απαντήσεων.
Όπως έχει παρουσιαστεί και αναλυθεί πολλαπλώς στη σχετική βιβλιογραφία, οι μαθητές συχνά οδηγούνται σε παρανοήσεις και σε εναλλακτικές ιδέες, θεωρίες και μοντέλα σε σχέση με τις επιστημονικές θεωρίες της χημείας, αλλά και των φυσικών επιστημών γενικότερα. Η βιβλιογραφία συνήθως περιγράφει, αναλύει και κατηγοριοποιεί τις παρανοήσεις αυτές ανά θεματική (καταστάσεις της ύλης, σωματιδιακή φύση της ύλης, χημικοί δεσμοί, χημικές αντιδράσεις, ατομική θεωρία, κ.ά.), γεγονός που δεν βοηθάει το διδάσκοντα να αναγνωρίσει κοινές παραδοχές ή πρότυπα συλλογισμού που ενδέχεται να καθοδηγούν τη σκέψη των μαθητών ως προς τα χημικά φαινόμενα (Talanquer 2006).
Ο Talanquer στηρίζει την έρευνά του στην υπόθεση ότι οι εννοιολογικές δυσκολίες που συναντούν οι περισσότεροι μαθητές φυσικών επιστημών απορρέουν από συλλογισμούς της «κοινής λογικής», η οποία χαρακτηρίζεται από τη χρήση λογικών προτύπων που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι ασυνείδητα και που εφαρμόζουν χωρίς δισταγμό μη λαμβάνοντας υπόψη τους άλλες εναλλακτικές. Οι μαθητές που ακολουθούν την κοινή λογική σχηματίζουν συνήθως γρήγορες εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα που στηρίζονται στο ένστικτο και σε ευρείες γενικεύσεις, χωρίς να τους αφιερώνουν πολλή σκέψη και αναστοχασμό (Talanquer2006).
Στο ίδιο μοτίβο κινούνται και οι Taber & García-Franco (2009), που υποστηρίζουν ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος λειτουργεί ως ένα πολύ ισχυρό σύστημα αντιστοίχισης προτύπων και όταν λαμβάνει ασαφή μηνύματα προσπαθεί κατά το μέγιστο δυνατόν να επιλέξει και να παρουσιάσει στο συνειδητό μας νου την πιο πιθανή επιλογή.
Η κοινή λογική συχνά συνδυάζεται με και στηρίζεται στην «ευρετική», που αφορά απλουστευμένες συλλογιστικές διαδικασίες και έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την εύρεση απαντήσεων σε μικρό χρονικό διάστημα με περιορισμένα δεδομένα (Talanquer 2006).
Ένα από τα συστατικά του εξηγητικού πλαισίου της «χημείας της κοινής λογικής», όπως την ορίζει ο Talanquer (2006) είναι η τελολογία. Η έρευνα που έχει γίνει στη χρήση τελολογικών εξηγήσεων έχει δείξει ότι τόσο τα παιδιά όσο και οι ενήλικες τις χρησιμοποιούν, ωστόσο η χρήση διαφέρει μεταξύ τους ως προς το περιεχόμενο, τη συχνότητα και τη συνέπεια. (Talanquer 2010). Για παράδειγμα, η Kelemen χαρακτηρίζει τα παιδιά ως «υπερβολικά τελολογικά» σε σχέση με τους ενήλικες καθώς διαθέτουν μια γενική τελολογική προκατάληψη που εφαρμόζουν αδιακρίτως στα φυσικά είδη πραγματοποιώντας λογικούς συλλογισμούς που συχνά έχουν ως πυρήνα το σκοπό: π.χ. «τα βράχια είναι μυτερά για να μην κάθονται σε αυτά τα ζώα» (Kelemen 1999).
Τα παραδείγματα χρήσης χημικών τελολογικών εξηγήσεων είναι πολλά. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 220 φοιτητών για την εξήγηση της ωσμωτικής ροής σε διάλυμα νερού με ζάχαρη, το 45% των απαντήσεων που δόθηκαν έδωσε την τελολογική εξήγηση ότι

[1] Η τελολογία συναντάται συχνότερα ως τελεολογία, ωστόσο βάσει της ετυμολογίας, ο σωστός όρος είναι τελολογία, καθώς εκφράζεται το «τέλος», ο σκοπός και όχι το «τελε», το μακρινό. Παρόλα αυτά, ο αγγλικός όρος που έχει καθιερωθεί είναι ο όρος teleology.

«το νερό θέλει ή χρειάζεται να ρεύσει για να φτάσει το σύστημα στο σημείο ισορροπίας» χρησιμοποιώντας διάφορες εκφράσεις. (Talanquer 2010).
Οι μαθητές, επίσης, συχνά θεωρούν ότι οι αυθόρμητες αντιδράσεις συμβαίνουν επειδή το σύστημα χρειάζεται ή θέλει να μειώσει την ενέργειά του ή να αυξήσει την εντροπία του, τα άτομα αντιδρούν μεταξύ τους επειδή χρειάζονται να γεμίσουν τη στιβάδα σθένους, τα μόρια παίρνουν συγκεκριμένα σχήματα για να ελαχιστοποιήσουν τις απώσεις, η εξουδετέρωση συμβαίνει για να μπορέσει το οξύ να εξισορροπήσει τη βάση, κ.ά. (Talanquer 2006, Taber & García-Franco 2009, Taber&Watts 2000).
Έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στο ρόλο που πρέπει να έχει ο εκπαιδευτικός ως διευκολυντής της μάθησης, προσφέροντας επιστημονικές εξηγήσεις φαινομένων που να είναι ουσιώδεις, διαφωτιστικές και σχετικές με τις ανάγκες και τις ικανότητες του ακροατηρίου (Taber&Watts 2000). Στις φυσικές επιστήμες η έννοια του σκοπού θεωρείται περιττή. Οι πρώτες διαμάχες ωστόσο για τη χρήση τελολογικών εξηγήσεων στις σχολικές τάξεις, προέκυψαν στο πλαίσιο της διδακτικής της βιολογίας. Παρόλο που η επικρατούσα άποψη είναι ότι όλα τα βιολογικά φαινόμενα μπορούν να εξηγηθούν με αιτιακούς όρους, σύμφωνα με νόμους της γενετικής και τη θεωρία της εξέλιξης, είναι γεγονός ότι πολλές τελολογικές αναφορές λαμβάνουν χώρα στις σχολικές αίθουσες (Talanquer 2007).
Από την άλλη, η φυσική και η χημεία θεωρητικά δεν «έχουν ανάγκη» τις τελολογικές εξηγήσεις, ωστόσο, όπως καταδεικνύει ο Talanquer, η τελολογία έχει συχνά θέση τόσο στις επεξηγήσεις των διδασκόντων, όσο και σε διδακτικά εγχειρίδια. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κανόνες, αρχές και νόμοι ως το μοναδικό άμεσο σημείο αναφοράς για την κατασκευή εξηγήσεων, παρακάμπτοντας εντελώς τη μηχανιστική προσέγγιση. Αυτές είναι που ανοίγουν το δρόμο για τελολογικούς σχηματισμούς (Talanquer 2007).

2. Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται ως προς την τελολογική τους στάση οι διατυπώσεις (22 στο σύνολο) τριών θεμάτων χημείας (β΄ νόμος θερμοδυναμικής, αρχή Le Châtelier, ορισμός ώσμωσης) σε μικρό δείγμα ελληνικών διδακτικών εγχειριδίων που χρησιμοποιούνται στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (5), ή ως σχολικά βοηθήματα (1) αλλά και σε πανεπιστημιακά συγγράμματα (6).
Η τελολογική στάση των εγχειριδίων προέκυψε από την εξέταση διατυπώσεων που χρησιμοποιούμε προσπαθώντας να δώσουμε εξηγήσεις σε γεγονότα και σε καταστάσεις που συμβαίνουν γύρω μας, με το ερώτημα «γιατί;». Με αυτό «μπορεί να εννοούμε ένα από τα δύο: "Ποιο σκοπό υπηρετεί αυτό το γεγονός;" ή "Ποια προηγούμενα περιστατικά προκάλεσαν αυτό το γεγονός;" Η απάντηση στην πρώτη ερώτηση είναι μια τελολογική εξήγηση […] η απάντηση στη δεύτερη ερώτηση είναι εξήγηση μηχανιστική» (Russell1990, σελ. 138).

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Δείγμα των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Στις περισσότερες των περιπτώσεων που εξετάστηκαν (13/22), δεν χρησιμοποιούνται τελολογικές εξηγήσεις, ωστόσο διαφαίνεται ότι από τις τρεις υπό συζήτηση περιοχές, η πιο «επιρρεπής» σε τελολογικά στοιχεία είναι η αρχή Le Châtelier.

Σχήμα 1. Διατυπώσεις σε σχολικά βιβλία χημείας

Ορισμός/Διατύπωση	Τελολογικά στοιχεία
Β΄ Νόμος Θερμοδυναμικής	
▪ Ορισμός από Kelvin και Planck: Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο. Ορισμός Clausious: Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο χωρίς να δαπανάται ενέργεια για τη λειτουργία της. **Ιωάννου, κ.ά., Φυσική Β' Ενιαίου Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, 2011, ΟΕΔΒ**	ΟΧΙ
Αρχή Le Châtelier	
▪ Όταν μεταβάλλουμε έναν από τους συντελεστές ισορροπίας (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία) η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση που τείνει να αναιρέσει τη μεταβολή που επιφέραμε. **Λιοδάκης κ.ά., Χημεία Β' Ενιαίου Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, 2011, ΟΕΔΒ**	ΝΑΙ
▪ Όταν σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας μεταβληθεί ένας από τους παράγοντες της ισορροπίας (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία), τότε η ισορροπία μετατοπίζεται προς την κατεύθυνση εκείνη που τείνει να αναιρέσει την επιφερόμενη μεταβολή. **Σαλτερής Κ., (1999) Χημεία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, Αθήνα: Σαββάλας. (Σχολικό βοήθημα)**	ΝΑΙ
Ορισμός/Περιγραφή ώσμωσης	
▪ Ώσμωση ονομάζεται γενικά η δίοδος περισσότερων μορίων του διαλύτη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από το διαλύτη στο διάλυμα (ή από ένα αραιότερο σε ένα πυκνότερο διάλυμα) με σκοπό να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων εκατέρωθεν της ημιπερατής μεμβράνης. **Γιαννακουδάκης κ.ά., Χημεία Β' Ενιαίου Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, 1998, ΟΕΔΒ**	ΝΑΙ
▪ Ώσμωση είναι το φαινόμενο της διόδου μορίων διαλύτη διαμέσου ημιπερατής μεμβράνης από το διαλύτη προς το διάλυμα ή από διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (αραιότερο) προς διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης (πυκνότερο). **Τσίπης, Χημεία Β' Ενιαίου Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, 1998, ΟΕΔΒ.**	ΟΧΙ

Σχήμα 2. Διατυπώσεις σε πανεπιστημιακά συγγράμματα

Ορισμός/Διατύπωση	Τελολογικά στοιχεία
Β΄ Νόμος Θερμοδυναμικής	
▪ Σύμφωνα με τον εμπειρικό νόμο της θερμοδυναμικής, κατά τις φυσικές ή χημικές μεταβολές η εντροπία γενικά αυξάνεται. Όταν η μεταβολή γίνεται με αντιστρεπτό τρόπο η εντροπία παραμένει σταθερή αλλά ποτέ δεν ελαττώνεται. **Πνευματικάκης Γ., Μητσοπούλου Χ., Μεθενίτης Κ., (2005), *Ανόργανη Χημεία* Α΄ Βασικές Αρχές, Αθήνα: Σταμούδης**	ΟΧΙ ΟΧΙ
▪ Ο Β΄ νόμος της θερμοδυναμικής ορίζει ότι η ολική εντροπία ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του πάντοτε αυξάνεται για μια αυθόρμητη διεργασία. **Ebbing, D., Gammon, S., (2002), *Γενική Χημεία*, μετ. Κλούρας, Ν., 6η έκδοση, Αθήνα: Τραυλός**	ΟΧΙ
▪ Μεταβολή της οποίας το μόνο τελικό αποτέλεσμα είναι η μεταφορά θερμότητας από σώμα που βρίσκεται σε ορισμένη θερμοκρασία, σε άλλο σώμα που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία είναι αδύνατη. **Κατσάνου Ν. Α., (1993), *Φυσικοχημεία Βασική Θεώρηση*, 3η έκδοση συμπληρωμένη, Αθήνα: Παπαζήση**	ΟΧΙ
▪ Είναι αδύνατη η κατασκευή μιας κυκλικής μηχανής που δεν παράγει άλλο αποτέλεσμα από τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο το οποίο έχει υψηλότερη θερμότητα. **Serway R. A., Jewett J. W., (1990) *Physics for scientists&engineers*, 3rd edition μετ. Ρεσβάνης Λ., Serway**	ΟΧΙ
▪ Κάθε διεργασία που έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από μια θερμοκρασία σε κάποια υψηλότερη, είναι αδύνατη. **Tassios D. P., (2001), *Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική για Χημική Μηχανική Τόμος Ι: Νόμοι - Καθαρές ενώσεις*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ**	ΟΧΙ

Αρχή Le Châtelier	
▪ Ένα σύστημα σε ισορροπία αντιστέκεται στις απόπειρες μεταβολής της θερμοκρασίας του, της πίεσης ή των συγκεντρώσεων του. **Πνευματικάκης Γ., Μητσοπούλου Χ., Μεθενίτης Κ., (2005), *Ανόργανη Χημεία* Α΄ Βασικές Αρχές, Αθήνα: Σταμούδης**	ΝΑΙ
▪ Η αρχή του Le Chatelier ορίζει ότι όταν ένα σύστημα ευρισκόμενο σε ισορροπία διαταράσσεται από μια μεταβολή θερμοκρασίας, πίεσης ή συγκέντρωσης ενός των συστατικών του, το σύστημα θα μετατοπίσει τη θέση ισορροπίας του κατά τρόπο που τείνει να εξουδετερώσει τη μεταβολή αυτή. **Ebbing, D., Gammon, S., (2002), *Γενική Χημεία*, μετ. Κλούρας, Ν., 6η έκδοση, Αθήνα: Τραυλός**	ΝΑΙ
▪ Σύμφωνα με την αρχή αυτή, αν σύστημα σε ισορροπία υποστεί "βία" με μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών (της πιέσεως, της θερμοκρασία κτλ) η ισορροπία μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση κατά την οποία εξουδετερώνεται η μεταβολή των συνθηκών. **Κατσάνου Ν. Α., (1993), *Φυσικοχημεία Βασική Θεώρηση*, 3η έκδοση συμπληρωμένη, Αθήνα: Παπαζήση**	ΝΑΙ
Ορισμός/Περιγραφή ώσμωσης	
▪ Ώσμωση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ο διαλύτης ρέει μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης προκειμένου να εξισώσει τις συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας στις δυο πλευρές της μεμβράνης. **Ebbing, D., Gammon, S., (2002), *Γενική Χημεία*, μετ. Κλούρας, Ν., 6η έκδοση, Αθήνα: Τραυλός**	ΝΑΙ
▪ Ορισμένες μεμβράνες ζωικής προέλευσης ή τεχνητά παρασκευαζόμενες είναι "ημιπερατές" δηλαδή επιτρέπουν τη δίοδο μορίων διαλύτη όχι όμως και μορίων διαλυμένης ουσίας. Το διάλυμα διαχωρίζεται από τον καθαρό διαλύτη με ημιπερατή μεμβράνη. Μόρια διαλύτη από τον καθαρό διαλύτη διαχέονται στο διάλυμα του οποίου η στάθμη ανυψώνεται ενώ ταυτόχρονα η στάθμη στο διαμέρισμα που υπάρχει μόνο νερό θα κατεβαίνει. Αυτό συμβαίνει γιατί μόρια νερού περνούν τη μεμβράνη κατευθυνόμενα προς την πλευρά του υδατικού διαλύματος της ουσίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται όσμωση και μπορεί να σταματήσει αν ασκηθεί εξωτερική πίεση στην επιφάνεια του υδατικού διαλύματος. **Πνευματικάκης Γ., Μητσοπούλου Χ., Μεθενίτης Κ., (2005), *Ανόργανη Χημεία* Α΄ Βασικές Αρχές, Αθήνα: Σταμούδης**	ΟΧΙ
▪ Η μετακίνηση του νερού από μια περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης μορίων (υψηλή συγκέντρωση νερού) σε μια περιοχή με υψηλή συγκέντρωση μορίων(χαμηλή συγκέντρωση νερού). **Alberts et al, *Βασικές Αρχές Κυτταρικής Βιολογίας 1ος τόμος*, Β΄ έκδοση, Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλιδης.**	ΟΧΙ

Αντίστοιχα αποτελέσματα με τα παραπάνω παρουσιάζει ο Talanquer (2007) σε μελέτη που πραγματοποίησε σε δείγμα αμερικανικών πανεπιστημιακών συγγραμμάτων, καθώς παρατηρεί συχνή χρήση τελολογικών εξηγήσεων σε μικρή αλλά σημαντική ομάδα θεμάτων, που συνήθως εξηγεί και προβλέπει προβλέπουν μετασχηματισμούς και αλλαγές, όπως είναι η αρχή Le Châtelier ή ο κανόνας της οκτάδας.

4. Συμπεράσματα και προτάσεις

Οι τελολογικές μεταφυσικές εξηγήσεις είναι απορριπτέες για την επιστημονική κοινότητα καθώς μπορούν να αποτελέσουν αφορμή για παρανοήσεις και «υπεργενικεύσεις» ή να δώσουν την εντύπωση ότι τα χημικά συστήματα φέρουν εγγενείς ιδιότητες με συγκεκριμένες προθέσεις. Από την άλλη, παίζουν έναν σημαντικό ρόλο σε διδακτικές εξηγήσεις, ειδικά στις περιπτώσεις κανόνων, αρχών και νόμων που καθορίζουν την κατεύθυνση μιας μεταβολής, καθώς προσφέρουν μια επεξήγηση για την εμφάνιση χημικών διεργασιών, μετασχηματίζουν περίπλοκες διατυπώσεις σε απλούστερες και βοηθούν τους μαθητές να οργανώσουν τη γνώση σε βασικές ιδέες και με μεγάλη εξηγητική και προβλεπτική ισχύ.
Συμπερασματικά, αναγνωρίζεται η διδακτική αξία που μπορεί να έχουν, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή και υπό προϋποθέσεις. Στα διδακτικά εγχειρίδια, και ειδικά στα σχολικά τα οποία οι μαθητές και μαθήτριες στην Ελλάδα καλούνται λόγω του

εκπαιδευτικού συστήματος να αποστηθίζουν, θα πρέπει να αποφεύγονται οι σαφείς τελολογικές αναφορές κατά το δυνατόν περισσότερο Εάν, όπως στην περίπτωση της αρχής Le Châtelier, αυτό φέρει πολλές δυσκολίες, θα πρέπει να συνοδεύονται από τις κατάλληλες μοντελοποιήσεις, αναπαραστάσεις και επεξηγήσεις.
Ο εκπαιδευτικός, ως διευκολυντής της μάθησης, «δικαιούται» να χρησιμοποιεί εξηγήσεις που θα βοηθήσουν το μαθητή στην κατανόηση, ακόμα κι αν αυτές είναι «τελολογικά ένοχες». Θα πρέπει ωστόσο να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός στις διατυπώσεις του, να εστιάζει στις αιτίες ενός φαινομένου και να εμπλέκει τους μαθητές σε διερευνήσειςκαι να είναι σαφής ως προς τη χρήση θεωριών και μοντέλων για την αναπαράσταση του φυσικού κόσμου.
Το αν ο κόσμος έχει μια καθορισμένη και ανεξάρτητη από το νου δομή (επιστημονικός ρεαλισμός) ή εξαρτάται πλήρως από το νου, γιατί το μόνο που υπάρχει είναι νοητικές οντότητες (ιδεαλισμός), είναι ένα από τα καίρια ερωτήματα που απασχολεί τη φιλοσοφία της επιστήμης. Σημαντικό ζήτημα, επίσης, αποτελεί ο ρόλος των επιστημονικών θεωριών ως προς την αναπαράσταση του κόσμου. Εξάλλου, η ιστορία έχει δείξει ότι οι επιστημονικές θεωρίες αντικαθίστανται συνεχώς από νέες, βελτιωμένες θεωρίες και έτσι, όπως υποστηρίζει η απαισιόδοξη επαγωγή, οι σημερινές επιστημονικές θεωρίες θα καταλήξουν σε μερικούς αιώνες να αποτελούν αντικείμενο της ιστορίας της επιστήμης.
Ο διδάσκων λοιπόν θα πρέπει να θυμάται αλλά και να μεταφέρει στους μαθητές τη φιλοσοφική διαμάχη επιστημονικού ρεαλισμού και ιδεαλισμού, τονίζοντας παράλληλα ότι η επιστήμη είναι ένα εργαλείο ερμηνείας του κόσμου που μας περιβάλλει, χωρίς να μπορούμε ωστόσο να γνωρίζουμε εάν οι θεωρίες της αντιστοιχούν στην πραγματικότητα. Έτσι, όλες οι επιστημονικές εξηγήσεις, είτε είναι τελολογικές είτε μηχανιστικές, μπορεί να απέχουν πολύ από τα πράγματα καθεαυτά, αλλά δεν παύουν να αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την καθημερινότητά μας.

5. Βιβλιογραφία

Γαβρόγλου Κ. (2001), Ιστορία της Φυσικής και της Χημείας, Πάτρα: Εκδόσεις Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου.

Πελεγρίνης Θ., (2004), Λεξικό της φιλοσοφίας, Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα.

Russell B. (1990), Ιστορία της Δυτικής Φιλοσοφίας, Α΄ τόμος, Ι. Δ. Αρσενίδης& ΣΙΑ, Αθήνα.

Kelemen, D. (1999). Why are rocks pointy? Children's Preference for teleological Explanations of the natural world, Developmental Psychology, 35 (6), 1440-1452.

Taber K. S., & Watts, M. (2000). Learners' explanations for chemical phenomena, ChemistryEducation: Research and Practice, 1(3), 329–353.

Taber K. S., & García-Franco, A. (2009).Intuitive thinking and learning chemistry, Education in Chemistry, 46(2), 57–60.

Talanquer V. (2006). Common sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions, Journal of Chemical Education, 83(5), 811–816.

Talanquer V. (2007).Explanations and Teleology in Chemistry Education.International Journal of Science Education, 29(7), 853–870.

Talanquer V. (2010). Exploring Dominant Types of Explanations Built by General Chemistry Students, International Journal of Science Education, 32(18), 2393–2412.