

Μέσα από την στήλη “Διαχρονικά και κλασικά” θα δημοσιεύονται μεταφρασμένα κλασικά άρθρα με απόψεις για τις Φυσικές Επιστήμες και τη διδασκαλία τους. Φιλοδοξία είναι η στήλη να αποτελέσει μια από τις μόνιμες στήλες του περιοδικού. Παρακαλούνται οι συνάδελφοι που έχουν υπόψη τους άρθρο κατάλληλο για αυτή τη στήλη, πριν ξεκινήσουν τη μετάφρασή του, να επικοινωνήσουν με τη συντακτική επιτροπή του περιοδικού ώστε να εξασφαλιστεί η σχετική άδεια του αρχικού εκδότη.

Η ύλη διασκορπίζεται, η ενέργεια υποβαθμίζεται. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής αποτελεί κοινή εμπειρία

Keith A. Ross

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΣΑΚΜΑΚΗ

Προλογικό σημείωμα της επιμελήτριας

Η έννοια ενέργεια και η διδασκαλία της έχει εγείρει εδώ και μερικές δεκαετίες έντονες συζητήσεις και αντιπαραθέσεις. Ενδεικτικά, από τη μία προτείνεται να μη διδάσκεται η ενέργεια στην υποχρεωτική εκπαίδευση επειδή οι μαθητές σε αυτή την ηλικία δεν έχουν ούτε την αφαιρετική σκέψη ούτε τις μαθηματικές γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση αυτής της έννοιας (Warren, 1982, 1986). Από την άλλη, υπάρχει η άποψη η ενέργεια να διδάσκεται από μικρή ηλικία, ώστε οι μαθητές ως πολίτες να αντιλαμβάνονται στο μέλλον θέματα όπως “ενεργειακή κρίση”, “εξοικονόμηση της ενέργειας” και “θερμική ρύπανση” (Κουμαράς, 2015, σελίδα 365).

Επί του παρόντος, σε διεθνές επίπεδο, η ενέργεια διδάσκεται στην υποχρεωτική εκπαίδευση και ο ιστός γύρω από τον οποίο χτίζεται η διδασκαλία της είναι η αρχή διατήρησής της. Στο υπάρχον διδακτικό πλαίσιο η υποβάθμιση της ενέργειας, η οποία συνδέεται μέσω του 2ου Νόμου της θερμοδυναμικής με την εντροπία, παραγκωνίζεται. Ως αποτέλεσμα, η διατήρηση της ενέργειας και ταυτόχρονα η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φαίνονται στους μαθητές ως αντιφατικές απόψεις για καταστάσεις της καθημερινής ζωής τους. Κάποιοι θα μπορούσαν να αναρωτηθούν: αν η ενέργεια είναι ίση στην αρχή και στο τέλος ενός φαινομένου, τότε γιατί χρειάζεται να κάνουμε “εξοικονόμηση ενέργειας”; Πώς μπορεί “η ενέργεια να διατηρείται” και ταυτόχρονα να “υπάρχει ανάγκη για ενεργειακούς πόρους”; (Doménech et al, 2007, p. 58)

Η Solomon (1985) επιχειρηματολογεί ότι η διδασκαλία της υποβάθμισης της ενέργειας, χωρίς βέβαια καμία αναφορά στην εντροπία, όχι μόνο πρέπει να διδάσκεται αλλά πρέπει να προηγείται από

τη διδασκαλία της διατήρησης της ενέργειας, διότι: α) οι ερμηνείες των μαθητών (για κατανάλωση, άρα μη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας) πλησιάζουν περισσότερο στην ιδέα της υποβάθμισης της ενέργειας παρά στην ιδέα της διατήρησης και β) θα αποτρέψει τους μαθητές από λανθασμένες ερμηνείες για τη διατήρηση της ενέργειας, όπως π.χ. ότι αφού η ενέργεια διατηρείται άρα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Ο Duit (1986) πρότεινε, επίσης, την παράλληλη διδασκαλία της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας, διότι χωρίς την πτυχή της υποβάθμισης, η κατανόηση της έννοιας ενέργεια είναι ελλιπής: δεν μπορούν να λυθούν προβλήματα έξω από το σχολικό πλαίσιο.

Στο άρθρο που ακολουθεί η Ross υποστηρίζει, ήδη από το 1988, ότι αυτά που οι μαθητές αποδίδουν στην «ενέργεια», δηλαδή, τη μη διατήρησή της και ότι είναι το αίτιο των αλλαγών που συμβαίνουν γύρω μας, οι Φυσικοί τα αποδίδουν στην «ελεύθερη ενέργεια». Συμφωνώντας με τον Feynman (2009, σελ. 57) προτείνει μάλιστα τον όρο «διαθέσιμη ενέργεια» αντί για τον παρεξηγήσιμο όρο «ελεύθερη ενέργεια», προσβλέποντας σε καλύτερα διδακτικά αποτελέσματα, καθώς: α. η διαθέσιμη ενέργεια είναι η αιτία που συμβαίνουν οι αλλαγές γύρω μας (κάνει τα «πράγματα» να λειτουργούν), β. η διαθέσιμη ενέργεια ανακατανέμεται και μπορεί να περιέλθει σε μη αξιοποιήσιμη κατάσταση (2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής), γ. στο τέλος μίας διαδικασίας όλο το ποσό της αρχικής διαθέσιμης ενέργειας εξακολουθεί να υπάρχει (1ος Νόμος) αλλά μπορεί να είναι όχι μόνο άχρηστη αλλά και ρύπος.

Οι διδακτικές ιδέες της Ross οι οποίες απλώνονται σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, ενδεχομένως θα μπορούσε να βοηθήσει στην αναδόμηση της διδασκαλίας μας και στη σύνδεσή της με την καθημερινότητα των μαθητών μας.

Βιβλιογραφία

Doménech, J., L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., Valdés, P. και Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16, 1, pp.43-64

Duit, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver, & R. Millar, Eds., *Energy Matters. Proceedings of an invited conference. Teaching about energy within the secondary science curriculum* (pp 67-101). Leeds, UK: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds

Feynman, R. (2009). *Οι Διαλέξεις Φυσικής του Feynman. Τόμος Α' (Μηχανική – Ακτινοβολία – Θερμότητα)*. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη.

Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education* 20, p.p. 165 – 170.

Warren, J. (1982). The nature of energy. *Eur.J. Sci. Educ.* 4,3, p.p. 295-297

Warren, J. (1986). At what stage should energy be taught. *Phys. Educ.* 21, p.p. 154-156.

Κουμαράς Π., 2015. *Μονοπάτια της σκέψης στον κόσμο της Φυσικής*. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.

Reproduced with permission from The Association for Science Education. Copyright 1988. K. A. Ross, "Matter scatter and energy anarchy. The second law of Thermodynamics is simply common experience". School Science Review, March 1988, pp. 438-445.

Ιδού μερικά πράγματα που έχουν πει μαθητές [1] τα οποία υποδεικνύουν ένα εναλλακτικό πλαίσιο απόψεων για την ενέργεια, παρόμοια με κάποια από τα ευρήματα από το Πρότζεκτ για την Μάθηση των Παιδιών στις ΦΕ (Children's Learning in Science Project) [2]:

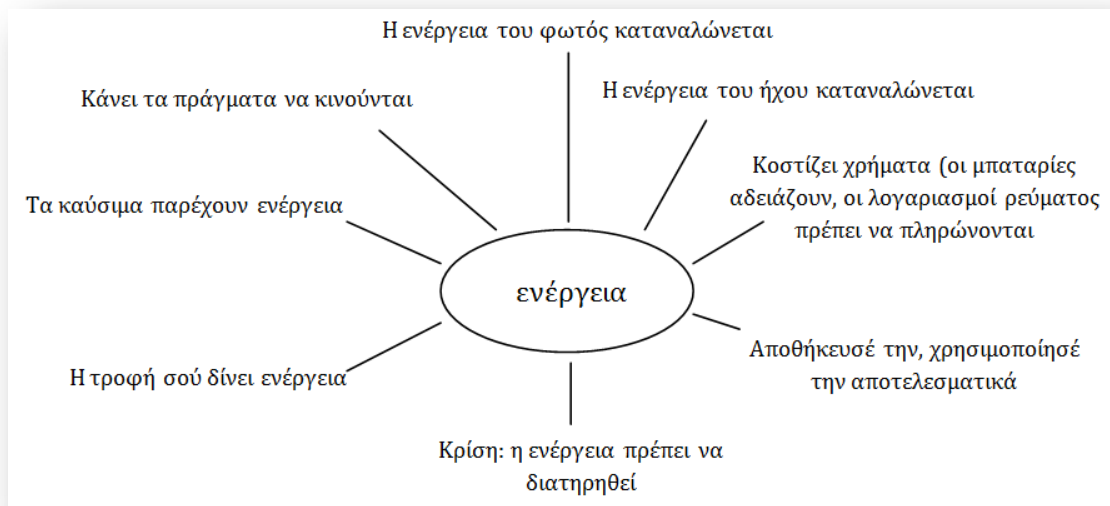
Η ενέργεια μέσα στο πετρέλαιο καταναλώθηκε για να κινήσει τα αυτοκίνητο.

Η ηλεκτρική ενέργεια μέσα στο φως καταναλώθηκε έτσι πρέπει να ανάψει ξανά το φως για να συνεχίσεις.

Καταναλώνουμε την ενέργεια μέσα στο φαγητό μας οπότε πρέπει να τρώμε διαρκώς.

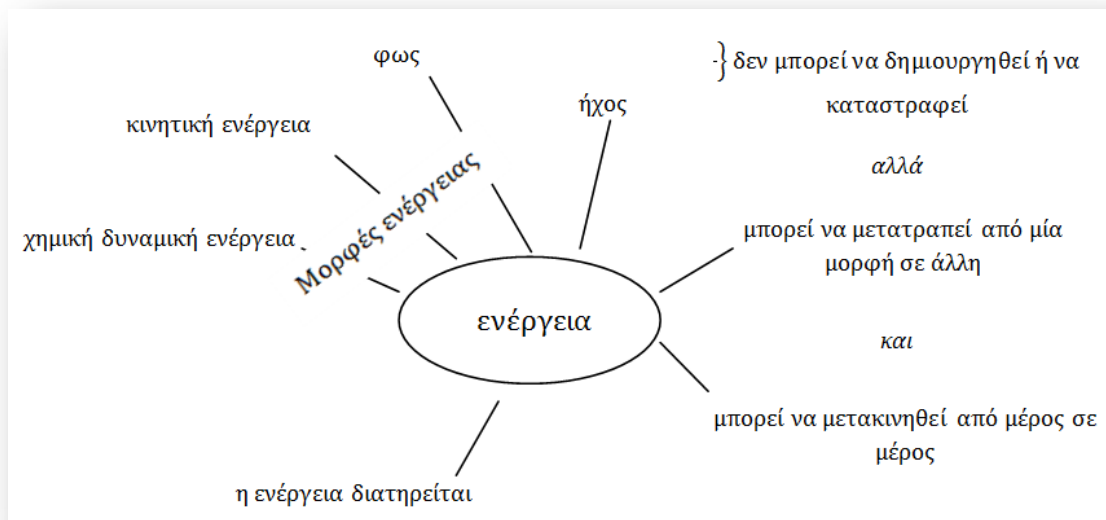
Η ενέργεια κοστίζει χρήματα οπότε πρέπει να τη χρησιμοποιούμε προσεκτικά και αποτελεσματικά.

Αυτή η άποψη για την ενέργεια αναπαριστάται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Τι εννοούν οι μαθητές με τη λέξη «ενέργεια».

Συγκρίνετε αυτή την εικόνα με την έννοια ενέργεια την οποία προσπαθούμε να οικοδομήσουμε κατά τα μαθήματα ΦΕ (Εικόνα 2), η οποία εστιάζει στην ιδέα ότι η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά απλά μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη (ο 1ος Νόμος της Θερμοδυναμικής).



Εικόνα 2. Τι εννοούμε με τη λέξη «ενέργεια» στα μαθήματα ΦΕ.

Σύμφωνα με το 2ο Νόμο της Θερμοδυναμικής αν και η ενέργεια μπορεί να μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη, η διαδικασία αυτή ποτέ δεν είναι 100% αποτελεσματική, κάποια ποσότητα ενέργειας πάντα «χάνεται» ως θερμότητα που αποβάλλεται. Ο νόμος αυτός είχε, κατά το παρελθόν, περιοριστεί να διδάσκεται σε πανεπιστημιακό επίπεδο. Το αναθεωρημένο μάθημα Χημείας επιπέδου A του προγράμματος Nuffield έχει προσεκτικά επιτρέψει σε αυτόν να λειτουργεί ως μία έννοια γύρω από την οποία οργανώνεται όλο το μάθημα. Τον βλέπουμε ακόμη να μπαίνει στα μαθήματα GCSE. Το Patterns Book 1 αφιερώνει τέσσερις σελίδες σε αυτόν [3: 151-155]. Το εκπαιδευτικό υλικό του SATIS έχει μία ενότητα με τίτλο «Ο δεύτερος νόμος-τίνος;» [4]. Όμως έχουμε διδαχθεί να τον φοβόμαστε, να τον θεωρούμε πέρα από ό,τι μπορούν να κατανοούν οι μαθητές μας.

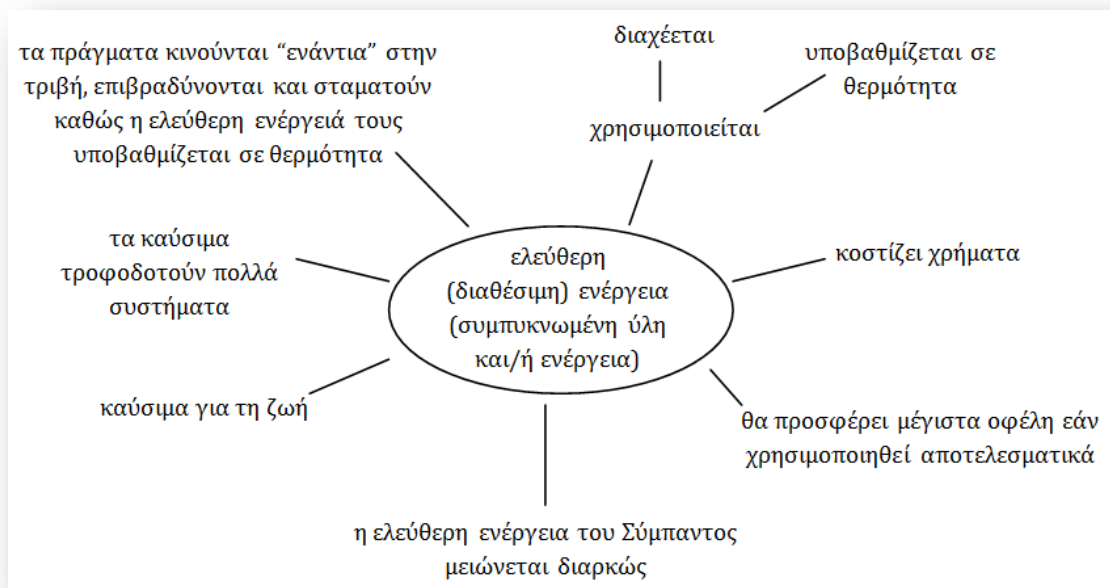
Ο σκοπός αυτού του άρθρου είναι να δείξει ότι ο 2ος Νόμος αποτελεί κοινή εμπειρία, και ότι εάν τον διδάξουμε πρώτα, προτού την εισαγωγή της διατήρησης της ενέργειας (1ος Νόμος), θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν πολύ λιγότερα «εναλλακτικά πλαίσια» απόψεων μεταξύ των μαθητών μας.

Ο 2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής απλά αποτελεί κοινή εμπειρία

Στην Εικόνα 3 επιχειρείται να περιληφθούν όσα λέει ο 2ος Νόμος: η ύλη διασκορπίζεται και η ενέργεια υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου – είναι ο νόμος αύξησης της εντροπίας. Περνούμε όλη μας

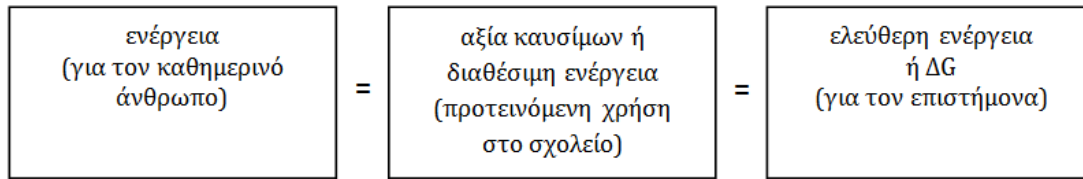
τη ζωή αποτρέποντας την εξάπλωση της αταξίας. Έτσι, τα δωμάτια διατηρούνται καθαρά, κτήρια συντηρούνται, μεταλλεύματα εξορύσσονται, άνθρωποι μετακινούνται – απλά δαπανώντας καύσιμα.

Παραδοσιακά, και στις περισσότερες μη ανεπτυγμένες βιομηχανικά περιοχές του κόσμου, ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει ανανεώσιμα ηλιακά καύσιμα (ανθρώπινη ή ζωική μυϊκή δύναμη, καύση ξύλων, νερόμυλους, ανεμόμυλους κ.ά.). Πιο πρόσφατα έχουμε προσθέσει “εμφιαλωμένο” ηλιακό φως (ορυκτά καύσιμα) και πυρηνικά καύσιμα (δες αναφορά [9]). Χωρίς τη σταθερή χρήση καυσίμων, τα δωμάτια γίνονται ακατάστατα, τα κτήρια καταρρέουν, τα μεταλλεύματα παραμένουν αναμεμιγμένα μέσα στους βράχους – όλα διαδικασίες κατά τις οποίες η ύλη διασκορπίζεται ή παραμένει διασκορπισμένη.



Εικόνα 3. Το νόημα του 2ου Νόμου της Θερμοδυναμικής.

Συγκρίνετε τώρα την Εικόνα 3 (τον 2ο Νόμο) με την Εικόνα 1 (τις ιδέες των μαθητών για την ενέργεια). Είναι σχεδόν ταυτόσημες! Όταν η λέξη «ενέργεια» χρησιμοποιείται στην καθημερινή γλώσσα από τους πολιτικούς, τους βιομηχάνους και τους μαθητές, σημαίνει κάτι σαν την «ελεύθερη ενέργεια» για την οποία μαθαίνουμε στα πανεπιστημιακά μαθήματα θερμοδυναμικής. Φυσικά δεν μπορούμε να την αποκαλέσουμε ελεύθερη ενέργεια στους μαθητές μας γιατί κοστίζει χρήματα. Ο John Ogborn [5] σε πρόσφατο άρθρο του για την «ενέργεια και τα καύσιμα» προτείνει τη λέξη “Exergy” (εξέργεια). Θα ήθελα να προτείνω να τη λέμε «αξία καυσίμων» (Fuel value) ή «διαθέσιμη ενέργεια». Έχουμε την εξής κατάσταση:



Βλέπουμε το 2ο Νόμο της Θερμοδυναμικής σε δράση διαρκώς. Ο 1ος Νόμος, σύμφωνα με την Joan Solomon [6], δεν έρχεται πρώτος. Είναι σε αντίθεση με τις εμπειρίες της καθημερινής ζωής. Πρέπει να εφεύρουμε τροχούς χωρίς τριβές για να τον «αποδείξουμε». Στις παραγράφους που ακολουθούν θα πάρω μερικές ιδέες των παιδιών για το φυσικό κόσμο, οι οποίες συχνά αναφέρονται ως εναλλακτικές – λανθασμένες ιδέες, και θα δείξω ότι μπορούμε να τις διαχειριστούμε μόνο αν διδάξουμε πρώτα στα παιδιά την ελεύθερη ενέργεια (δηλαδή τη διαθέσιμη ενέργεια).

Ηλεκτρικό ρεύμα

Ξοδεύουμε πολύ χρόνο προσπαθώντας να πείσουμε τα παιδιά ότι το ρεύμα κατά μήκος ενός κλειστού κυκλώματος είναι σταθερό. Γνωρίζουν πολύ καλά ότι οι μπαταρίες αδειάζουν και οι λογαριασμοί του ηλεκτρικού πρέπει να πληρωθούν. Ξέρουν ότι οι λάμπες παράγουν θερμότητα και φως από τον ηλεκτρισμό, επομένως η ενέργεια πρέπει να προέρχεται από κάπου. Τα περισσότερα παιδιά μπορούν να τα βγάλουν πέρα με ιδέες για την ηλεκτρική ενέργεια στο σπίτι, και ακόμη να κάνουν απλούς υπολογισμούς του κόστους χρήσης συσκευών σε μονάδες ισχύος. Η ηλεκτρική ελεύθερη ενέργεια (διαθέσιμη ενέργεια) καταναλώνεται και δεν θα πρέπει να αποθαρρύνουμε τα παιδιά όταν σκέφτονται έτσι ξεκινώντας για πρώτη φορά να εργάζονται στον ηλεκτρισμό. Η έννοια ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να έρθει αρκετά αργότερα στο μάθημα – ως η ροή φορέων ενέργειας (φορτία) οι οποίοι προφανώς δεν καταναλώνονται κατά μήκος ενός κυκλώματος.

Το παρακάτω απόσπασμα αναδεικνύει τη διάσταση απόψεων.

Πήρα συνέντευξη από τρεις μαθητές της Τετάρτης τάξης του επιπέδου-0 Φυσικής. Ένας από αυτούς (Μαθητής 1) εξέφρασε διστακτικά την άποψη των φορτίων ως φορέων της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι άλλοι δύο (μαθητές 2 και 3) χρησιμοποίησαν τη λέξη ρεύμα εννοώντας ηλεκτρική ενέργεια και υποστήριξαν ότι το ρεύμα καταναλώθηκε. Ο Μαθητής 1 χρησιμοποίησε την αναλογία με μπουκάλια γάλακτος για να βοηθήσει τους συμμαθητές του να καταλάβουν χωρίς όμως επιτυχία.

[εγώ] τι είναι αυτό το ρεύμα που ρέει;

[Μαθητής 1] λοιπόν είπατε ότι είναι ...εε... μία μορφή ... κάτι ... ένα ρευστό ή κάτι που πηγαίνει γύρω ... το ρευστό χρησιμοποιείται αλλά διαθέτεις πάντα αποθήκες που θα επιστρέψει ... πες τα μπουκάλια γάλακτος ... έχεις το μπουκάλι γάλακτος για να πιεις το γάλα και θα επιστρέψεις το μπουκάλι ώστε να γεμίσει ξανά με περισσότερο γάλα ... είναι μία συνεχής αλυσίδα ... εάν δεν επιστρέψεις τα μπουκάλια γάλακτος που έχεις τότε δεν θα πάρεις γάλα την επόμενη ημέρα.

[Μαθητής 3] η λάμπα δεν χρησιμοποιεί πάντως όλο το ρεύμα ... χρησιμοποιεί μόνο λίγο

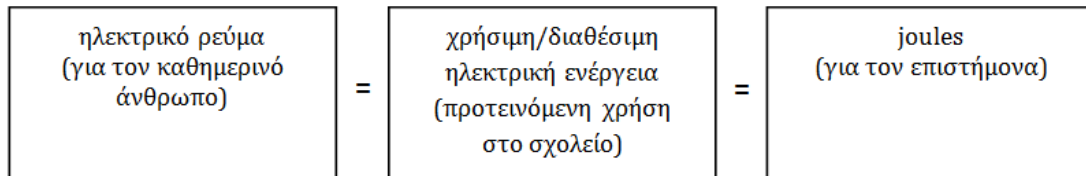
[Μαθητής 2] και τότε όταν επιστρέφει στη μηχανή χρησιμοποιείται ξανά και κάνει όλο τον κύκλο γύρω-γύρω ανάβοντας τη λάμπα και μετά επιστρέφει

[Εγώ] εσείς [προς τους μαθητές 2 και 3] μιλάτε για ενέργεια και εσύ [προς το μαθητή 1] μιλάς για το ρεύμα και δεν νομίζω ότι μιλάτε για το ίδιο πράγμα.

[Μαθητής 1] η ενέργεια από την μπαταρία θα είναι λιγότερη αλλά το ρεύμα θα είναι το ίδιο ... εάν τοποθετήσεις ένα αμπερόμετρο στο θετικό πόλο μίας μπαταρίας και στον αρνητικό μία μπαταρίας θα εξακολουθείς να έχεις το ίδιο ... ποσό από ... ρεύμα

Είναι σπάνιο να συναντήσεις έναν μαθητή που βλέπει το πρόβλημα τόσο καθαρά: το ρεύμα (μπουκάλια ανά ημέρα) εισέρχονται και εξέρχονται εξίσου στο σπίτι, αλλά η ενέργεια (γάλα) μεταφέρεται από τη γαλακτοκομική μονάδα (μπαταρία) προς το σπίτι (λάμπα). Ακόμη κι εδώ υπάρχει μία ισχυρή συσχέτιση με την ενέργεια που καταναλώνεται (γάλα που έχουμε πει), κάτι που ισχύει αν ενέργεια σημαίνει «χρήσιμη ενέργεια».

Άρα έχουμε:



Φως

Έχω συναντήσει λίγα παιδιά που θέλουν να εξηγήσουν τη μοίρα της ηλεκτρικής ενέργειας από τη στιγμή και μετά που έχει μετατραπεί σε φως (ή ομοίως σε κίνηση ή ήχο επίσης). Όταν το φως (ή αντίστοιχα το μίξερ ή το ραδιόφωνο) κλείσει, δεν υπάρχει άλλος ηλεκτρισμός, για αυτό τα παιδιά λένε ότι το φως (ή η κίνηση ή ο ήχος) σταματάει.

“Τι συμβαίνει με το φως (ή την κίνηση ή τον ήχο) που έχει ήδη παραχθεί, που πηγαίνει;”

“Καταναλώθηκε”, θα πουν.

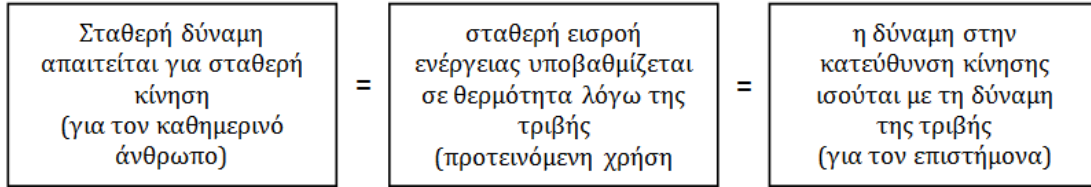
Εάν όμως ξεκινήσουμε τη διδασκαλία μας με το 2ο Νόμο μπορούμε να οικοδομήσουμε σε αυτή την ιδέα: ο ηλεκτρισμός «χρησιμοποιήθηκε» και πληρώσαμε για αυτόν, η αξία τους ως καύσιμο εξαφανίστηκε. Αργότερα μπορούμε να συνεχίσουμε προτείνοντας ότι η ενέργεια καταλήγει σε αποβαλλόμενη θερμότητα, μία ιδέα η οποία σταδιακά τρέπεται στην παραδοσιακή «διατήρηση της ενέργειας» (1ος Νόμος).

Δύναμη και κίνηση

Η λέξη «δύναμη» χρησιμοποιείται από πολλά παιδιά (και ενήλικες) για να εννοηθεί κάτι παρόμοιο με ό,τι οι φυσικοί λένε ορμή, δείτε σχετικά το κεφάλαιο 5 από το βιβλίο της Driver [7]. Για την παρεξήγηση αυτή ευθύνεται η τριβή. Πρέπει να συνεχίσεις να σπρώχνεις κάτι για να εξακολουθήσει να κινείται, διαφορετικά σταματάει. Έτσι, στην καθημερινή ζωή η δύναμη είναι ανάλογη με την

ταχύτητα. Αυτός είναι και πάλι ο 2ος Νόμος, η ενέργεια υποβαθμίζεται σε θερμότητα, έτσι η σταθερή κατανάλωση καυσίμων είναι απαραίτητη ώστε το αυτοκίνητο να συνεχίσει να κινείται. Μήπως θα έπρεπε να το διδάξουμε με αυτό τον τρόπο και να εισάγουμε τη δύναμη και την ορμή αργότερα;

Έχουμε έτσι:



Μέγιστο έργο

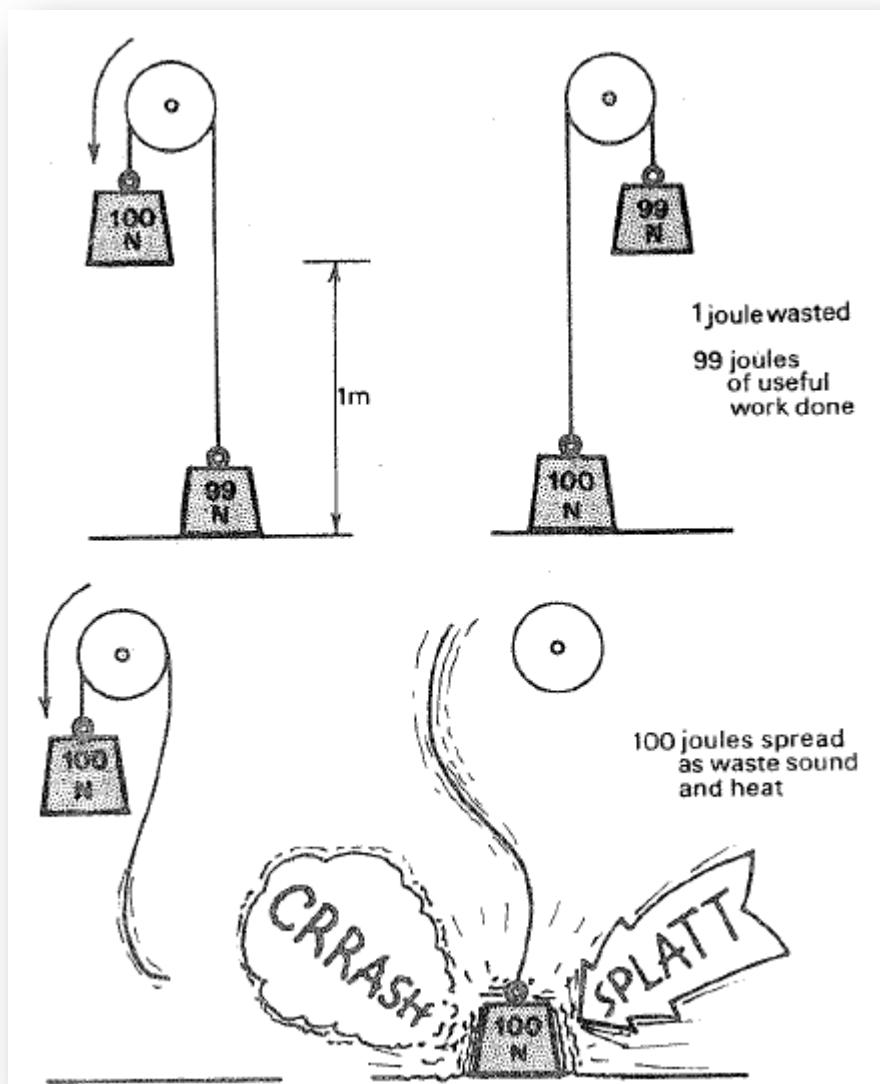
Η καθημερινή εμπειρία δείχνει ότι χρειάζεται να καταναλώνουμε ενέργεια (δηλαδή καύσιμα) απλά για να διατηρήσουμε την κίνηση αντικειμένων ή για να τα εμποδίσουμε να σταματήσουν να λειτουργούν. Και η καθημερινή εμπειρία μάς λέει ότι χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια (δηλαδή τη διαθέσιμη ενέργεια) όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε το εξής πρακτικό πρόβλημα καθαρισμού πινέλων βαψίματος:

Διαθέτω δέκα βρώμικα πινέλα βαψίματος και ένα δοχείο με νερό (και επίσης μερικά εφεδρικά δοχεία). Πώς μπορώ να πλύνω όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται τα πινέλα; Τα περισσότερα παιδιά ξεκινούν σπαταλώνοντας όλο το νερό μονομιάς βουτώντας το πρώτο πινέλο στο καθαρό νερό. Είμαστε όλοι ένοχοι κάνοντας λίγο πολύ το ίδιο πράγμα όταν μπαίνουμε σε μία μπανιέρα γεμισμένη με καθαρό ζεστό νερό (κάνοντας ντους χρησιμοποιείτε ένα μόνο μέρος του παραπάνω νερού και καθαρίζετε πολύ καλύτερα). Το κάνουμε επίσης όταν βυθίζουμε τα βρώμικα πιάτα μέσα στο καθαρό νερό πλυσίματος.

Επιστρέφοντας στα παιδιά και τα πινέλα τους: πόσα από αυτά χρησιμοποιούν ένα σύνολο διατεταγμένων δοχείων, καθένα από τα οποία περιέχει μία πολύ μικρή ποσότητα νερού, ώστε να πάνε σε πολλά ξεβγάλματα; Με αυτό τον τρόπο κάθε πινέλο ξεπλένεται αρχικά στο δοχείο 1 (το οποίο γίνεται πολύ βρώμικο) αλλά κατά το τελευταίο ξέβγαλμα (στο δοχείο 5, για παράδειγμα) χρησιμοποιούμε σχεδόν καθαρό νερό. Κάθε τόσο πρέπει να πετάμε το δοχείο 1 και να μετατοπίζουμε κατά μία θέση όλα τα υπόλοιπα, προσθέτοντας λίγο καθαρό νερό από το απόθεμα που διαθέτουμε στο νέο, κάθε φορά, δοχείο 5. Το νερό καταναλώνεται πολύ αργά. Φυσικά το ίδιο το νερό δεν καταναλώνεται, αλλά η «αξία του ως καύσιμο».

Σε αυτή την αναλογία το νερό αντιστοιχεί στον πόρο που διαθέτουμε και το βρώμικο νερό αντιστοιχεί στη διασκορπισμένη ύλη - σε αταξία και άχρηστο. Εάν θέλουμε να καθαρίσουμε το βρώμικο νερό πρέπει ξανά να χρησιμοποιήσουμε καύσιμα. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να εξασφαλίσουμε ότι παίρνουμε το μέγιστο όφελος από την ύλη και την ενέργειά μας καθώς αυτές σταδιακά διασκορπίζονται. Αν κάνουμε κάτι απείρως αργά, διατηρώντας το σταθερά «σε ισορροπία», μπορούμε να διατηρήσουμε ανέπαφα τα καύσιμά μας - δεν πραγματοποιείται καθόλου

διασκορπισμός. Όσο πιο αργά και προσεκτικά χρησιμοποιούμε τα καύσιμα τόσο λιγότερο από αυτά σπαταλάμε.



Εικόνα 4. Η αναλογία της τροχαλίας, η ιδέα του να παίρνεις το μεγαλύτερο έργο από ένα σύστημα. Σκεφτείτε τη «μοίρα» των 100 J που είναι αποθηκευμένα ως δυναμική ενέργεια σε αυτό το σύστημα: (πάνω) χρησιμοποιώντας την αργά, προσεκτικά, αποτελεσματικά (κάτω) απομυζώντας μία ενεργειακή πηγή

Χρησιμοποιώ την αναλογία με την τροχαλία της Εικόνας 4 (από τους Johnstone και Webb [8]) για να αναπαραστήσω αυτή την ιδέα. Όσο μεγαλύτερη η ανισορροπία τόσο πιο γρήγορα το φορτίο ανυψώνεται, αλλά τόσο περισσότερη «αξία του ως καύσιμο» χάνουμε. Στην ακραία περίπτωση το βαρίδιο πέφτει άσκοπα στο έδαφος χωρίς να ανυψώσει τίποτα.

Η ιδέα αυτή μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί από μερικά ανθρώπινα καύσιμα, ένα ταπεινό φιστίκι. Βάλτε το φωτιά και η ενέργειά του (αξία του ως καύσιμο) σπαταλιέται, διασκορπίζεται, «καταναλώνεται». Στα κύτταρα του σώματος απαιτεί κόπο να καεί βήμα-βήμα (σύμφωνα με τον

κύκλο του Krebs). Διατηρώντας κάθε βήμα όσο πιο κοντά στην ισορροπία γίνεται, μέρος της χρήσιμης ενέργειας κληροδοτείται ως ATP (δείτε σχετικά την αναφορά [10]). Αυτή η χρήσιμη ενέργεια (καύσιμη αξία) σύντομα «καταναλώνεται» κατά τις διαδικασίες μεταβολισμού μας. Μέρος της θα χρησιμοποιηθεί για να κάνουμε χρήσιμες εργασίες έξω από το σώμα μας -να τακτοποιήσουμε ένα δωμάτιο, να σκάψουμε στον κήπο- αλλά αργά ή γρήγορα όλη η καύσιμη αξία θα εξαφανιστεί. Όλη η ενέργεια έχει μετατραπεί σε άχρηστη θερμότητα.

Μέγιστο έργο μέσω υδροηλεκτρισμού

Σκεφτείτε την ενέργεια που παρέχεται από τον κύκλο του νερού. Το μόριο του νερού κερδίζει ενέργεια από τον Ήλιο η οποία του επιτρέπει να δραπετεύσει μέσα στον αέρα και να μεταφερθεί στα βουνά. Όλη αυτή η ενέργεια έχει «χαθεί» από τη στιγμή που θα φτάσει και πάλι στη θάλασσα.

Με τον ίδιο τρόπο η ενέργεια του ανυψωμένου βαριδίου στην τροχαλία του Johnstone (Εικόνα 4) «χάνεται» όταν πέσει ελεύθερα. Γνωρίζουμε ότι η ενέργεια δεν «χάνεται» πραγματικά αλλά απλά υποβαθμίζεται σε θερμότητα. Αυτός είναι ο λόγος που ένας καταρράκτης είναι πιο ζεστός στον ταμιευτήρα στη βάση του παρά στην κορυφή του.

Αυτό που ένας νερόμυλος ή ένας σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας κάνουν είναι να καθυστερούν αυτή την αναπόφευκτη διαδικασία. Όπως ακριβώς η τροχαλία -άφησε το νερό να περάσει αργά (σχεδόν σε ισορροπία) και θα πάρεις σχεδόν τη μέγιστη καύσιμη αξία- ανατίναξε το φράγμα και όλη χαλαμίζεται. Φυσικά η ενέργεια θα διασκορπιστεί και στις δύο περιπτώσεις, αλλά στην «χρήσιμη» περίπτωση έχει δημιουργήσει τάξη κάπου αλλού, για παράδειγμα, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει μία σκούπα για να καθαρίσεις ένα δωμάτιο ή (στην περίπτωση της τροχαλίας) για να ανυψώσει ένα φορτίο.

Φωτοσύνθεση: ό,τι σε περιβάλλει, μετράει

Οι περισσότερες αλλαγές που περιγράφηκαν παραπάνω δείχνουν καθαρά το διασκορπισμό της ύλης και την κατανάλωση της ενέργειας (καύσιμη αξία) με το πέρασμα του χρόνου. Πώς αντιμετωπίζουμε φαινόμενα που εμφανίζονται να δημιουργούν τάξη; Την ανάπτυξη κρυστάλλων, για παράδειγμα; Και ακόμη πιο εντυπωσιακά, τη φωτοσύνθεση, κατά την οποία η διασκορπισμένη ύλη διοξειδίου του άνθρακα και νερού οικοδομείται σε υψηλής τάξης σάκχαρα (και οξυγόνο), και ενέργεια αποθηκεύεται στο σύστημα σακχάρων-οξυγόνου παρέχοντας καύσιμα σε κάθε έκφανση ζωής;

Εάν το περιβάλλον ληφθεί υπόψη, και δεν κάνουμε το λάθος να θεωρήσουμε απομονωμένα αντικείμενα, όλες οι αλλαγές παράγουν περισσότερο χάος, ακόμη κι όταν το ίδιο το αντικείμενο καθίσταται περισσότερο οργανωμένο. Έτσι, όταν θέλουμε να τακτοποιήσουμε ένα δωμάτιο πρέπει να υποβαθμίσουμε τροφή (το δικό μας καύσιμο) ή ηλεκτρική ενέργεια (το καύσιμο της σκούπας) σε θερμότητα. Το δωμάτιο καθίσταται περισσότερο οργανωμένο αλλά το περιβάλλον, εξαιτίας της θερμότητας, πιο ανοργάνωτο. Με παρόμοιο τρόπο, όταν ο κρύσταλλος αναπτύσσεται (αυξανόμενη

τάξη) το διάλυμα και το περιβάλλον ζεσταίνεται από την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την κρυσταλλοποίηση (δημιουργώντας αταξία).

Όταν τα φυτά μεγαλώνουν διαχωρίζοντας οξυγόνο από το νερό και προσθέτοντας διοξείδιο του άνθρακα για να οικοδομήσουν σάκχαρα, τροφοδοτούνται ενεργειακά από το ηλιακό φως. Φωτόνια του ορατού ηλιακού φωτός απορροφούνται από την χλωροφύλλη και το πακέτο ενέργειάς τους αρχίζει να διασκορπίζεται. Μικρό μέρος της συγκρατείται από το φυτό. Η υπόλοιπη ενέργεια χάνεται στο περιβάλλον ως αποβαλλόμενη θερμότητα, δημιουργώντας αταξία. Και η αταξία αυτή είναι μεγαλύτερη από την τάξη που δημιουργήθηκε από την χλωροφύλλη.

Είναι ενθαρρυντικό να βλέπεις ότι αρκετοί μαθητές [1] βλέπουν τη βιομάζα και τα ορυκτά καύσιμα ως «εμφιαλωμένο ηλιακό φως». Πολλοί αναγνωρίζουν ότι το οικοσύστημα του πλανήτη μας και τα κλιματικά συστήματα τροφοδοτούνται ενεργειακά από τον Ήλιο. Ο λόγος για τον οποίο ένα δάσος μοιάζει το ίδιο καθώς οι αιώνες περνούν είναι η σταθερή εισροή υψηλού βαθμού οργάνωσης ενέργειας ορατών φωτονίων και η εκροή υποβαθμισμένης ενέργειας λόγω της διασκόρπισης της ενέργειας κάθε φωτονίου μεταξύ ενός ακατάληπτου αριθμού μορίων και η σταδιακή ακτινοβολή της στο διάστημα ως χαμηλού βαθμού οργάνωσης ενέργεια (θερμότητα ακτινοβολίας). Η ανισορροπία διατηρείται από αυτή τη σταθερή ενεργειακή τροφοδότηση. Εάν διακοπεί το ηλιακό φως για μερικά χρόνια όλο το σύστημα θα καταρρεύσει: αυτό είναι που προβλέπεται υπό το φόβο ενός πυρηνικού χειμώνα που θα ακολουθήσει τα σύννεφα σκόνης που θα προκληθούν από έναν πυρηνικό πόλεμο, και θεωρείται ως η αιτία της μαζικής εξάλειψης ειδών πριν 65 εκατομμύρια χρόνια, όταν, σύμφωνα με μία θεωρία, η πρόσκρουση ενός μετεωρίτη απέκοψε το ηλιακό φως για αρκετά χρόνια.

Αναπνοή

Πολλοί ενήλικες οργανισμοί εμφανίζονται χωρίς εμφανείς αλλαγές εβδομάδα με την εβδομάδα, μολονότι βρίσκονται μακριά από την ισορροπία. Τι δημιουργεί και συντηρεί αυτή την υψηλού βαθμού τάξη σε αυτούς; Τροφοδοτούνται με καύσιμα μέσω της κυτταρικής αναπνοής. Τα βιοχημικά συστήματα μεμονωμένων οργανισμών τροφοδοτούνται σταθερά με καύσιμα, αυτή τη φορά (στην περίπτωση των αερόβιων οργανισμών) από την αναπνοή των σακχάρων, μία διαδικασία που εύκολα φαίνεται να δημιουργεί χάος, καθώς η ύλη στα καύσιμα και το οξυγόνο διασκορπίζεται στο περιβάλλον ως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η ενέργειά τους διασκορπίζεται παρομοίως, ως σπαταλημένη θερμότητα. Από τη στιγμή που η παροχή καυσίμων και οξυγόνου διακοπεί ξεκινάει μία διαδικασία διάσπασης η οποία διασκορπίζει περαιτέρω την ύλη τους και την χημική δυναμική ενέργεια μέσα στο περιβάλλον.

Μεγάλη σύγχυση προκαλείται ζητώντας από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν εργαστηριακούς ελέγχους που συνδέονται με τη φωτοσύνθεση, όπως για παράδειγμα η αναζήτηση αμύλου στα φύλλα –προτείνω ότι πρέπει να έχουν μία πολύ ευρύτερη εικόνα των φυτών και του Ήλιου ως πηγή

καυσίμων για τη ζωή προτού να μπορέσουν να τα βγάλουν πέρα με τις λεπτομέρειες. Αυτή η ευρύτερη εικόνα προκύπτει μέσα από τη θεώρηση του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια (η καύσιμη αξία) από τον Ήλιο «καταναλώνεται» καθώς μετακινιόμαστε από ένα τροφικό επίπεδο στο επόμενο (τροφικές αλυσίδες). Επίσης βοηθά να αποδώσουμε την αξία του φαγητού τόσο πιο χαμηλά στην τροφική αλυσίδα όσο είναι δυνατό.

Ελεύθερη ενέργεια ή διαθέσιμη ενέργεια

Προσπάθησα να δείξω ότι μαθητές και απλός κόσμος χρησιμοποιούν τη λέξη «ενέργεια» για να εννοήσουν κάτι που είναι κοντά σε ό,τι οι επιστήμονες ονομάζουν «ελεύθερη ενέργεια», και ότι η χρήση αυτή βοήθησε στην ανάπτυξη μερικών πολύ χρήσιμων ιδεών στα μυαλά τους που βρίσκονται σε αντίθεση με τη «σχολική επιστήμη».

Προτείνω ότι πρέπει να αναθεωρήσουμε εκ βάθρων τη διδακτική μας προσέγγιση της ενέργειας για να λάβουμε υπόψη αυτό το γεγονός. Είναι μία προσέγγιση η οποία ξεκινά με την παραδοχή ότι η «ενέργεια» «καταναλώνεται» και μετά σταδιακά δείχνει ότι το «καταναλώνεται» σημαίνει στην πραγματικότητα ότι υποβαθμίζεται σε θερμότητα και άρα η «ενέργεια» είναι ακόμη εκεί. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μία νέα λέξη να αναπαραστήσει την καθημερινή λέξη «ενέργεια». Θεωρώ ότι η λέξη «καύσιμο» εξυπηρετεί το σκοπό μας. Τα καύσιμα έχουν διαθέσιμη ή ελεύθερη ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία των συστημάτων. Ο Ήλιος «τροφοδοτεί με καύσιμα» τη βιόσφαιρά μας. Το ουράνιο «τροφοδοτεί με καύσιμα» τις πυρηνικές ενεργειακές εγκαταστάσεις. Η βαρυτική δυναμική ενέργεια «τροφοδοτεί με καύσιμα» τις παλίρροιας. Το πετρέλαιο «τροφοδοτεί με καύσιμα» τα αυτοκίνητά μας. Όλα αυτά τα καύσιμα καταναλώνονται κατά τη διαδικασία ή καλύτερα, η αξία τους ως καύσιμα χάνεται. Μερικά είναι ανανεώσιμα, παρέχοντάς μας σταθερή καθημερινή ποσότητα, ενώ άλλα θα εξαντληθούν. Ο στόχος μας είναι να αντλήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο έργο από αυτά καθώς υποβαθμίζονται.

Υπάρχει, ωστόσο, μία ισχυρή συσχέτιση μεταξύ καυσίμων και καύσης: τα καύσιμα καίγονται. Και ήδη έχουμε την έκφραση «τα πυρηνικά καύσιμα “καίγονται” στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα» κάτι το οποίο σίγουρα δεν είναι καύση. Πολλοί άνθρωποι θεωρούν ότι το κάψιμο καταστρέφει την ύλη. Αλλά εάν θέλουμε να ενθαρρύνουμε τους μαθητές να αντιληφθούν το κάψιμο ως την οικοδόμηση οξειδίων, παρά ως μία διαδικασία αποσύνθεσης στην οποία η ενέργεια «χάνεται» [1] η ευρύτερη χρήση της λέξης “καύσιμα” πράγματι έχει μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό προτιμώ τη χρήση των λέξεων «αξία ως καύσιμο» και «διαθέσιμη ενέργεια» ως τη δική μας μετάφραση της λέξης «ενέργεια» των μαθητών.

Πιστεύω ότι τα παιδιά στο σχολείο πρέπει να γνωρίζουν περισσότερο το 2ο Νόμο. Πιστεύω ότι αυτό μπορεί να γίνει απλά κάνοντας ρητές τις κοινές τους εμπειρίες για την ενέργεια. Ίσως, τότε, στο μέλλον, θα αντιλαμβάνονται την ανάγκη να χρησιμοποιούν του πόρους του κόσμου (συγκεντρώσεις ύλης και ενέργειας) πιο προσεκτικά – την ανάγκη να παίρνουμε τη μέγιστη αξία ως καυσίμου από

αυτά προτού η ύλη διασκορπιστεί (προκαλώντας ρύπανση) και η διαθέσιμη ενέργεια καταναλωθεί (ο ευτελισμός της άχρηστης θερμότητας).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μαθητές μου στους οποίους οι ιδέες αυτές εφαρμόστηκαν καθώς και τους Steve Whitworth, Clive Sutton, Jon Ogborn και πολλούς άλλους που έκαναν χρήσιμα σχόλια σε αρχικές μορφές αυτού του άρθρου.

Αναφορές

1. Από δική μου αδημοσίευτη έρευνα στον τρόπο που οι άνθρωποι κατανοούν τα καύσιμα και την καύση.
2. Brooks, A. and Driver, R. Aspects of secondary students' understanding of energy: summary report. Children's Learning in Science Project (University of Leeds, 1984).
3. Lyth, M., (ed). Exploring Science: Making Patterns I. (Longmans, 1985).
4. Association for Science Education, Science and Technology in Society (SATIS), Book 3 SATIS number 308 (ASE, 1986).
5. Ogborn, J. Energy and fuel: the meaning of "the go of things". School Science Review, 1986, 242, 68, 30-5.
6. Solomon, J. How children learn about energy, or Does the first law come first? School Science Review, 1982, 224, 63, 415-22.
7. Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds). Children's Ideas in Science (Open University Press, 1985).
8. Johnstone, A. H. and Webb, C. Energy Chaos and Chemical Change, (Heinemann, 1977).
9. Δείτε τα σχόλιά μου στην τελευταία παράγραφο σχετικά με το πρόβλημα χρήσης της λέξης «καύσιμο» υπό αυτή την ευρύτερη έννοια.
10. Σημειώστε ότι το ATP έχει έναν ασθενή δεσμό σε αυτό ώστε όταν υδρολύεται υπάρχει απελευθέρωση ενέργειας καθώς σχηματίζονται ισχυρότεροι δεσμοί στο σύστημα ADP/φωσφορικό άλας. Για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε: Gayford, C. G. Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology, Eur. J. Sci. Educ., 1986, 3, 8, 443-50 και Novik, S. No energy storage in chemical bonds, J. Bio. Educ. 1986, 3, 10, 116-18.