

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Ο ΜΠΕΡΔΕΜΕΝΟΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ III: Η ΓΛΩΣΣΑ

John W. Jewett Jr., California State Polytechnic University, Pomona, CA

Η ενέργεια είναι κρίσιμη έννοια για την επίλυση προβλημάτων φυσικής, γίνεται ωστόσο συχνά κύρια πηγή σύγχυσης για τους σπουδαστές εάν η παρουσίασή της δεν οικοδομηθεί προσεκτικά από τον καθηγητή ή το σχολικό βιβλίο. Σύγχυση μπορεί να προκύψει από την απρόσεκτη χρήση της γλώσσας όταν πραγματευόμαστε την ενέργεια. Οι σπουδαστές, συνειδητά ή ασυνειδητά, μιμούνται τον δάσκαλο όταν χρησιμοποιούν τη γλώσσα και έτσι μπορούν να μπερδέψουν τους εαυτούς τους και τους άλλους αν χρησιμοποιήσουν λανθασμένη ορολογία και έννοιες. Σ' αυτό το τρίτο άρθρο θα ρίξουμε μια ματιά σε κάποια συνηθισμένα παραδείγματα.

Έργο που γίνεται σε...από...

Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί ώστε να αποφεύγουμε ημιτελείς προτάσεις όπως «έργο παράχθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας». Ακόμα και κάτι πιο έγκυρο όπως «έργο παράχθηκε από τη βαρύτητα κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας», επίσης δεν είναι ολοκληρωμένο γιατί δεν προσδιορίζει τον αποδέκτη του έργου. Είναι προτιμότερο να προσδιορίζουμε τη δύναμη που κάνει το έργο και το σύστημα που είναι ο αποδέκτης του έργου: για παράδειγμα θεωρείστε τις προτάσεις «έργο παράχθηκε από τη βαρύτητα πάνω στην μπάλα», «έργο παράχθηκε από την ηλεκτρική δύναμη πάνω στο ηλεκτρόνιο» και «έργο παράχθηκε από το πιστόνι πάνω στο αέριο». Οι προτάσεις αυτές εκφράζουν ξεκάθαρα ότι το έργο παράγεται πάνω σ' ένα σύστημα από μία δύναμη ενώ επίσης στρώνουν το έδαφος για την ιδέα ότι το έργο αντιπροσωπεύει μία ενεργειακή μεταφορά ανάμεσα σε ένα σύστημα και το περιβάλλον του.

Η φρασεολογία αυτή είναι παρόμοια με μια εξίσου σημαντική ιδιότητα προηγούμενων παρουσιάσεων για τις δυνάμεις. Η φράση «το σφυρί εξάσκησε δύναμη» είναι ατελής. Είναι σημαντικό να αναφέρεται ποιος ασκεί τη δύναμη και σε ποιον ασκείται η δύναμη: «η δύναμη του σφυριού πάνω στο νύχι», «η δύναμη που ασκείται από την επιφάνεια πάνω στο πόδι» και παρόμοια.

Για να χρησιμοποιήσουμε την πληρέστερη γλώσσα, θα έπρεπε να προσθέσουμε μια ακόμα οντότητα στην προηγούμενη ενεργειακή φρασεολογία. Όταν το περιβάλλον παράγει έργο πάνω σ' ένα σύστημα, το σύστημα κερδίζει ενέργεια ίση κατ' απόλυτη τιμή με το ποσό της ενέργειας που χάνει το περιβάλλον. Έτσι, το «έργο παράχθηκε από το ελατήριο πάνω στο σώμα» δηλώνεται πληρέστερα με το «ενέργεια μεταβιβάστηκε από το ελατήριο στο σύστημα του σώματος μέσω έργου που παράχθηκε από τη δύναμη που εξάσκησε το ελατήριο πάνω στο σώμα». Σε πολλές περιπτώσεις η πηγή της ενέργειας είναι προφανής στον σπουδαστή, όπως στην περίπτωση του ελατηρίου και του σώματος. Ως ένα άλλο παράδειγμα, όταν ο σπουδαστής σπρώχνει ένα καρότσι, η κινητική ενέργεια του καροτσιού προέρχεται από την αποθήκη δυναμικής ενέργειας που έχει ο σπουδαστής χάρη στα πρόσφατα γεύματα. Σε μερικές περιπτώσεις, ωστόσο, η πηγή δεν είναι τόσο ξεκάθαρη στους σπουδαστές. Για παράδειγμα, αν μια μπάλα που πέφτει κοντά στην επιφάνεια της Γης θεωρηθεί σύστημα, ποιο είναι το περιβάλλον που προμηθεύει την αυξανόμενη κινητική ενέργεια καθώς η μπάλα κινείται ολοένα πιο γρήγορα; Η Γη δεν μπορεί να θεωρηθεί απάντηση σ' αυτή την ερώτηση· στην πραγματικότητα, η κινητική

ενέργεια της Γης επίσης αυξάνεται, αν και κατά ένα πολύ μικρό ποσό. Πρέπει να προσδιορίσουμε ένα περιβάλλον του οποίου η ενέργεια *ελαττώνεται*. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι το βαρυτικό πεδίο που υφίσταται τη μείωση της ενέργειας. Ενώ η ενέργεια του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου συζητιέται σε πολλές πραγματεύσεις του ηλεκτρομαγνητισμού, η ενέργεια σ' ένα βαρυτικό πεδίο δεν συζητιέται συχνά.

Δυναμική ενέργεια

Σε πραγματεύσεις της δυναμικής ενέργειας, μια συνήθης παραπλανητική πρακτική είναι να χρησιμοποιούνται φράσεις όπως «η δυναμική ενέργεια της μπάλας», στην οποία η δυναμική ενέργεια σχετίζεται μ' ένα αντικείμενο παρά με ένα σύστημα δύο ή περισσότερων αντικειμένων που αλληλεπιδρούν. Αυτό είναι εννοιολογικά παραπλανητικό και αγνοεί τη σημασία του συστήματος, όπως συζητήθηκε στο δεύτερο άρθρο αυτής της σειράς.¹ Είναι σημαντικό να δώσουμε έμφαση στο ότι η δυναμική ενέργεια είναι ιδιότητα ενός συστήματος, όχι ενός αντικειμένου. Σχετίζεται με τη δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε μέλη ενός συστήματος και έτσι δεν μπορεί να συσχετιστεί με ένα μόνο μέλος – ένα μοναδικό αντικείμενο δεν μπορεί να κατέχει δυναμική ενέργεια.² Έτσι η καταλληλότερη φράση για τη βαρυτική δυναμική ενέργεια είναι «δυναμική ενέργεια του συστήματος μπάλα – Γη».

Μια άλλη συνήθης παραπλανητική πρόταση είναι να δηλώσουμε ότι η δυναμική ενέργεια σχετίζεται με τις *θέσεις* των αντικειμένων που αλληλεπιδρούν μέσα σ' ένα σύστημα. Αυτός είναι ένας ισχυρισμός που προκαλεί μικρό ή και καθόλου πρόβλημα σε απλά προβλήματα μηχανικής αλλά πρέπει να αναθεωρηθεί αργότερα όταν ο σπουδαστής μαθαίνει ηλεκτρομαγνητισμό. Φανταστείτε ένα ηλεκτρικό δίπολο μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο ή ένα μαγνητικό δίπολο μέσα σε μαγνητικό πεδίο, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να περιστραφεί χωρίς μεταβολή της θέσης. Αν και η θέση του κέντρου του περιστρεφόμενου διπόλου παραμένει αμετάβλητη, η δυναμική ενέργεια του συστήματος δίπολο – πεδίο μεταβάλλεται. Αυτή η αλλαγή οφείλεται σε μεταβολή στον *προσανατολισμό* του διπόλου, όχι στη *θέση*. Συνεπώς φτιάχνει το σκηνικό για μελλοντικές πιθανές συζητήσεις στη μηχανική όπου η δυναμική ενέργεια συσχετίζεται με τη διάταξη των αλληλεπιδρώντων αντικειμένων σ' ένα σύστημα. Αυτό επιτρέπει μεταβολές τόσο στη θέση όσο και στον προσανατολισμό.

Σ' ένα σχετικό θέμα, μια συνήθης δήλωση στη μηχανική είναι ότι η «δυναμική ενέργεια είναι μηδενική στο κάτω άκρο της ράμπας». Αυτό υποδηλώνει ότι η δυναμική ενέργεια είναι όπως ένα πεδίο, έχει μοναδική συγκεκριμένη τιμή για όλα τα σημεία του χώρου. Είναι πιο σωστό να πούμε ότι «η δυναμική ενέργεια είναι μηδενική για τη διάταξη του συστήματος στην οποία το αυτοκίνητο βρίσκεται στο κάτω μέρος της ράμπας».

Θερμότητα

Πηγαίνοντας στη θερμοδυναμική, βρίσκουμε τη λέξη της φυσικής που χρησιμοποιείται πιο πολύ απ' όλες στη συνήθη γλώσσα με λάθος τρόπο – τη *θερμότητα*. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι φυσικοί χρησιμοποιούν τη λέξη αυτή για να αναφερθούν σε (1) μια *διαδικασία* με την οποία μεταβιβάζεται ενέργεια και (2) το *ποσό της ενέργειας που μεταβιβάστηκε* σ' αυτή τη διαδικασία, που συνήθως συμβολίζεται με *Q*. *Δεν* είναι η οντότητα αυτή που μεταβιβάζεται (δεν είναι η *θερμότητα* που μεταβιβάζεται· η *ενέργεια* μεταβιβάζεται) και, ακόμα χειρότερα, *δεν* είναι το ενεργειακό περιεχόμενο ενός

συστήματος κάποιας θερμοκρασίας (που σωστά περιγράφεται ως εσωτερική ενέργεια). Ο Romer³ ισχυρίζεται ότι η θερμότητα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως ουσιαστικό. Ενώ συμφωνώ με το πνεύμα της σωστής χρήσης της λέξης θερμότητα, διαφωνώ ότι η θερμότητα δεν είναι ουσιαστικό. Η θερμότητα είναι πράγματι ουσιαστικό, αλλά είναι το όνομα μιας διαδικασίας, όχι αυτού που μεταβιβάζεται. Ο Bauman⁴ έχει επίσης εξετάσει τη χρήση της λέξης *θερμότητα* και την ερμηνεία της σαν θερμοκρασίας και εσωτερικής ενέργειας.

Θεωρείστε κάποιες φράσεις που χρησιμοποιούνται στην καθομιλουμένη: «μεταβίβαση θερμότητας», «ροή θερμότητας», και «η θερμότητα ακτινοβολείται προς τα έξω». Αυτές οι φράσεις αναφέρονται σε μεταφορά ενέργειας αλλά αναπαριστούν λανθασμένες χρήσεις της λέξης *θερμότητα*. Οι φράσεις μπορούν να ελεγχθούν με αντικατάσταση της λέξης «θερμότητα» με τις λέξεις «μεταβίβαση ενέργειας». Κάθε φράση μοιάζει άκομψη και περιττή όταν κάνουμε την αντικατάσταση. Για παράδειγμα η «μεταβίβαση θερμότητας» γίνεται «μεταβίβαση ενέργειας». Άλλες συνηθισμένες φράσεις περιλαμβάνουν «τη θερμότητα της ημέρας» και «πολλή θερμότητα στον αέρα». Σ' αυτές τις χρήσεις η θερμότητα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη θερμοκρασία. Άλλη συνηθισμένη δήλωση είναι «η θερμότητα ανυψώνεται». Σ' αυτή την περίπτωση, η θερμότητα σημαίνει τον ζεστό αέρα!

Ο Barrow⁵ κάνει τη ριζοσπαστική πρόταση οι λέξεις *έργο* και *θερμότητα* να «εξαφανιστούν από τη θερμοδυναμική». Δίνει έμφαση στο ότι η θερμοδυναμική θα έπρεπε να επικεντρωθεί στην ενέργεια και όχι στο έργο ή τη θερμότητα. Συμφωνώ ολόψυχα ότι η θερμοδυναμική θα έπρεπε να επικεντρωθεί στην ενέργεια· στην πραγματικότητα όλοι οι κλάδοι της φυσικής θα έπρεπε να επικεντρωθούν στην ενέργεια ως την ποσότητα που μεταβιβάζεται. Διαφωνώ, ωστόσο, ότι θα έπρεπε να απαλλαγούμε από τις λέξεις *έργο* και *θερμότητα*. Πιστεύω ότι οι σπουδαστές διακρίνουν καθαρά τη διαφορά ανάμεσα σε (1) εξάσκηση μιας δύναμης σ' ένα σύστημα και (2) τοποθέτηση ενός ψυχρού συστήματος σε θερμό περιβάλλον, και δεν χρειαζόμαστε λέξεις για να περιγράψουμε αυτές τις δύο πολύ διαφορετικές καταστάσεις.

Ενώ είναι βέβαιο ότι δεν μπορούμε να αλλάξουμε την κοινωνία στη χρήση της λέξης *θερμότητα*, μπορούμε να μοχθήσουμε ώστε ένα κλάσμα του πληθυσμού, οι σπουδαστές μας, να χρησιμοποιούν τη λέξη σωστά. Για την περίπτωση της μετακίνησης ενέργειας ανάμεσα σ' ένα σύστημα μιας θερμοκρασίας και στο περιβάλλον του διαφορετικής θερμοκρασίας, η διαδικασία είναι «μεταφορά ενέργειας με θερμότητα». Αντιπαθώ την έκφραση «μεταφορά ενέργειας με τη μορφή θερμότητας» γιατί υπονοεί ότι η θερμότητα είναι αποθηκεύσιμη μορφή ενέργειας μάλλον, παρά μια μέθοδος για τη μεταφορά ενέργειας.

Μεταβίβαση (*transfer*) και μετασχηματισμός ενέργειας

Συνεχίζοντας την εξέταση της σημασίας του συστήματος, ας εξετάσουμε τώρα τη σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στη μεταβίβαση και τον μετασχηματισμό της ενέργειας. Ένα δημοφιλές σχολικό βιβλίο⁶ ισχυρίζεται ότι (1) η ενέργεια *μεταφέρεται* από κινητική σε βαρυτική δυναμική. Αυτό είναι ένα παράδειγμα πρότασης που δημιουργεί σύγχυση στους σπουδαστές, ειδικά αν συγκριθεί με προηγούμενη πρόταση του ίδιου βιβλίου που λέει ότι (2) η ενέργεια μπορεί να *μετασχηματιστεί* από μια μορφή σε μια άλλη και να *μεταβιβαστεί* από ένα αντικείμενο σ' ένα άλλο. Η πρόταση (2) είναι σωστή, αν και ατελής (δίνεται έμφαση σ' ένα σώμα παρά σ' ένα σύστημα), αλλά η πρόταση (1) είναι λανθασμένη.

Θα πρέπει να γίνει ξεκάθαρο στους σπουδαστές ότι ενεργειακοί **μετασχηματισμοί** συμβαίνουν **στο εσωτερικό** ενός συστήματος και έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή ενός τύπου αποθηκευμένης ενέργειας σε άλλον. Για παράδειγμα, σ' ένα σύστημα μπάλας-Γης η κινητική ενέργεια του συστήματος καθώς η μπάλα ανεβαίνει προς τα επάνω, μετασχηματίζεται σε βαρυτική δυναμική ενέργεια του συστήματος. Σ' αυτή τη συνηθισμένη περίπτωση, η κινητική ενέργεια του συστήματος συσχετίζεται με ένα μόνο κινούμενο αντικείμενο (στο σύστημα αναφοράς της Γης), αλλά εν γένει, είναι η ενέργεια ολόκληρου του συστήματος που μετασχηματίζεται. Σ' ένα μασούρι δυναμίτη, η χημική δυναμική ενέργεια μετασχηματίζεται σε εσωτερική ενέργεια και κινητική ενέργεια των θρυμματισμένων κομματιών καθώς ο δυναμίτης εκρήγνυται. Όταν ένα σώμα ολισθαίνει πάνω σε δάπεδο και σταματά, η κινητική ενέργεια του συστήματος σώμα-δάπεδο μετασχηματίζεται σε εσωτερική ενέργεια στο σώμα και το δάπεδο. Εάν το σύστημα είναι απομονωμένο, μόνο μετασχηματισμοί ενέργειας μπορούν να συμβούν και η συνολική ενέργεια του συστήματος διατηρείται σταθερή.

Αντιθέτως, **μεταβίβαση** ενέργειας μπορεί να συμβεί **διαμέσου** των ορίων του συστήματος και μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της συνολικής ενέργειας του συστήματος. Αυτοί οι μηχανισμοί μεταφοράς περιλαμβάνουν το έργο, τη θερμότητα και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθώς και άλλους που θα συζητηθούν στο τέταρτο άρθρο αυτής της σειράς.⁷

Επιπρόσθετα, απρόσεκτη χρήση της γλώσσας περιλαμβάνει προτάσεις όπως «ενέργεια εισέρχεται στον λαμπτήρα ως ηλεκτρισμός και μετατρέπεται σε φως και θερμότητα». Αυτή η πρόταση έχει τρεις αδυναμίες όσον αφορά τη σαφήνεια της γλώσσας. Πρώτον, η ενέργεια δεν εισέρχεται σε καμία ηλεκτρική συσκευή ως «ηλεκτρισμός». Αυτό υπονοεί ότι ο ηλεκτρισμός είναι μορφή ενέργειας. Παρομοίως, η δεύτερη και τρίτη αδυναμία σχετίζονται με τη δήλωση ότι η ενέργεια «μετατρέπεται» σε φως και θερμότητα: επειδή το «μετατρέπεται» είναι ισοδύναμο του «μετασχηματίζεται», η πρόταση αυτή υπονοεί ότι το φως και η θερμότητα είναι μάλλον μορφές ενέργειας παρά μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας. Μια ισχυρότερη και σωστότερη πρόταση είναι ότι «η ενέργεια εισέρχεται στο σύστημα του λαμπτήρα με τη μορφή ηλεκτρικής μετάδοσης (*electrical transmission*) και εξέρχεται από το σύστημα με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και θερμότητα». Σημειώστε ότι αλλάζοντας το «σαν» με το «με» είναι ένα σημαντικό βήμα για να ταυτοποιήσουμε ηλεκτρισμό, φως και θερμότητα ως μηχανισμούς μεταβίβασης παρά σαν μορφές αποθήκευσης ενέργειας.

Κατανάλωση ενέργειας και απώλειες

Η μελέτη ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι ένα παράδειγμα ατυχούς αλλά δημοφιλούς επιλογής λέξης – η ενέργεια «*καταναλώνεται* σ' έναν αντιστάτη». Ενώ οι καθηγητές φυσικής ξέρουν ότι αυτό σημαίνει πως ο αντιστάτης θερμαίνεται και ενέργεια μεταβιβάζεται στο περιβάλλον με θερμότητα και ακτινοβολία, ο σπουδαστής μπορεί να ερμηνεύσει τη λέξη ώστε να σημαίνει ότι η ενέργεια εξαφανίζεται. Ένας λεξικογραφικός ορισμός της λέξης *κατανάλωση* είναι «η πρόκληση εξάπλωσης μέχρι του σημείου εξαφάνισης». Ο σπουδαστής μπορεί να αποδεχτεί αυτό το νόημα και σχηματίζει την ιδέα ότι η ενέργεια με κάποιο τρόπο χάνεται.

Είναι καλύτερα να πούμε ότι η ενέργεια *αποδίδεται* στον αντιστάτη, που ενισχύει την έννοια της μεταφοράς ενέργειας σ' ένα σύστημα. Εξαιτίας αυτής της μεταφοράς, η εσωτερική ενέργεια του αντιστάτη αυξάνεται. Στη συνέχεια,

υπάρχει μια επακόλουθη μεταφορά ενέργειας με θερμότητα και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, από τον θερμό αντιστάτη στο ψυχρότερο περιβάλλον.

Μια παρόμοια φρασεολογία που εμφανίζεται σε εγχειρίδια είναι η «απώλεια» ενέργειας. Αυτή είναι μια επικίνδυνη περιοχή σύγχυσης για τον σπουδαστή, ειδικά όταν η ενέργεια έχει εισαχθεί με σωστό τρόπο νωρίτερα στα ίδια βιβλία με τη δήλωση ότι ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται. Αν η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί πώς είναι δυνατόν να «χαθεί»; Είναι πολύ καλύτερο να είμαστε συνεπείς και να μιλήσουμε για ενεργειακούς μετασχηματισμούς και μεταβίβαση ενέργειας αποφεύγοντας εντελώς τη λέξη «απώλεια».

Συνθήκες κάτω από τις οποίες οι εξισώσεις ισχύουν

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που σχετίζεται με τη γλώσσα που χρησιμοποιείται όταν συζητάμε για ενέργεια, είναι να παρουσιάζουμε φυσικές αρχές *μαζί με* τις συνθήκες κάτω από τις οποίες ισχύουν. Για παράδειγμα, στη μηχανική, θα ήταν χωρίς νόημα να δηλώσουμε «ένα αντικείμενο σε κίνηση παραμένει σ' αυτή την κατάσταση κίνησης» χωρίς να προσθέσουμε τη συνθήκη «στην περίπτωση που δεν ασκούνται δυνάμεις πάνω στο αντικείμενο».

Μία δήλωση που αναφέρεται σε πολλά εγχειρίδια όταν εξετάζεται η λύση σ' ένα πρόβλημα είναι η ασαφής δήλωση ότι «η ενέργεια διατηρείται», χωρίς να γίνεται αναφορά στο σύστημα που εξετάζεται. Είναι πράγματι σωστό ότι η ενέργεια διατηρείται σε συμπαντική κλίμακα, έτσι αυτή η δήλωση είναι σωστή για όλα τα σύνολα συνθηκών και συνεπώς δεν είναι χρήσιμη για την επίλυση του προβλήματος. Σ' ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι πιο σημαντικό να προσδιορίσουμε τις ειδικές συνθήκες για το σύστημα του προβλήματος: Είναι το σύστημα απομονωμένο ή όχι; Έτσι αντί να λέμε «η ενέργεια διατηρείται» είναι πιο χρήσιμο να δηλώσουμε «η ενέργεια του απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή», ή «το σύστημα δεν είναι απομονωμένο γιατί μπορούμε να προσδιορίσουμε μία ή περισσότερες μεταφορές ενέργειας, οπότε η ενέργεια του συστήματος δεν διατηρείται σταθερή».

Η λέξη *γενική* χρησιμοποιείται συχνά λανθασμένα στα βιβλία. Για παράδειγμα ένα βιβλίο⁶ ισχυρίζεται ότι η γενική μορφή του νόμου της θερμοδυναμικής για την ενέργεια είναι

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{εσωτ}} = 0. \quad (1)$$

Αυτή δεν είναι η γενική διατύπωση του νόμου διατήρησης της ενέργειας. Είναι μια εξίσωση που είναι σωστή για την ειδική περίπτωση ενός απομονωμένου συστήματος. Μια πραγματικά γενική εξίσωση για τη διατήρηση της ενέργειας οποιουδήποτε συστήματος παρουσιάζεται στο τέταρτο άρθρο της σειράς.⁷ Η γενική αυτή εξίσωση περιλαμβάνει όχι μόνο την αποθήκευση ενέργειας μέσα στο σύστημα αλλά και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος των ορίων του συστήματος.

Σαν ένα τελικό σχόλιο για τις συνθήκες ισχύος των εξισώσεων, θεωρείστε την εξίσωση $W = \Delta K$. Αποκαλείται συχνά *θεώρημα έργου –κινητικής ενέργειας*, και πολλοί σπουδαστές ολοκληρώνουν τη μηχανική με την εντύπωση ότι αυτή είναι η θεμελιώδης ενεργειακή εξίσωση. Είναι σημαντικό να τονίσουμε στους σπουδαστές ότι είναι μια ειδική εξίσωση, όπως συζητάμε στο τέταρτο άρθρο αυτής της σειράς,⁷ η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από τους παρακάτω

περιορισμούς: (1) το έργο είναι ο *μόνος* μηχανισμός μεταφοράς μέσω του οποίου ενέργεια εισέρχεται στο σύστημα και (2) η κινητική ενέργεια του συστήματος είναι το *μόνο* είδος ενέργειας το οποίο μεταβάλλεται στο σύστημα. Θα επιχειρηματολογούσα υπέρ της φράσης *θεώρημα έργου – κινητικής ενέργειας* για την εξίσωση αυτή ώστε να δοθεί έμφαση στη σχέση μεταξύ έργου και κινητικής ενέργειας, όχι της ενέργειας γενικώς.

Μετατροπή μάζας σε ενέργεια

Μια συνηθισμένη πρόταση στα εγχειρίδια και τις διαλέξεις για τη σχετικότητα περιλαμβάνει κάτι σαν «σ' αυτή τη διαδικασία μάζα μετατρέπεται σε ενέργεια». Αυτός ο τύπος δήλωσης είναι παραπλανητικός για τους σπουδαστές γιατί λέει ότι κάποια ποσότητα μετατρέπεται σε κάτι εντελώς διαφορετικό. Μια ποσότητα που μετριέται σε χιλιόγραμμα απλώς δεν μπορεί να μετατραπεί σε κάτι που μετριέται σε joules.

Μια καλύτερη προσέγγιση σ' αυτή τη διαδικασία μετατροπής είναι να δηλώσουμε με προσοχή ότι *η ενέργεια ηρεμίας* μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα, σε μια πυρηνική διάσπαση, η ενέργεια ηρεμίας του συστήματος μειώνεται γιατί μέρος αυτής της ενέργειας ηρεμίας μετασχηματίζεται σε κινητική ενέργεια των εξερχόμενων σωματιδίων. Είναι αλήθεια ότι επιπρόσθετα μειώνεται και η μάζα του συστήματος, αλλά η μείωση της μάζας απλώς *σχετίζεται* με τη μείωση της ενέργειας, δεν είναι *ίση* μ' αυτή. Ο Baierlein⁸ συζητά σε βάθος το ζήτημα της μετατροπής της μάζας σε ενέργεια.

Ερωτήσεις

Για να γίνουν ξεκάθαρα όσα πραγματευόμαστε εδώ, θεωρείστε τις παρακάτω ερωτήσεις του τύπου σωστό-λάθος :

(1) Σωστό ή λάθος; Ένα αντικείμενο μάζας 10kg ανυψώνεται 1m πάνω από την επιφάνεια ενός τραπεζιού. Σε σχέση με την επιφάνεια του τραπεζιού το αντικείμενο έχει βαρυτική δυναμική ενέργεια 98J.

(2) Σωστό ή λάθος; Το έργο που παράγεται πάνω σ' ένα αντικείμενο ισούται με τη μεταβολή στην κινητική ενέργεια του αντικειμένου.

Ο ισχυρισμός στην πρόταση (1) είναι λανθασμένος γιατί ο προσδιορισμός της δυναμικής ενέργειας δεν είναι σωστός. Η δυναμική ενέργεια πρέπει να αποδοθεί σ' ένα σύστημα αλληλεπιδρώντων αντικειμένων στην περίπτωση αυτή στο σύστημα αντικειμένου – Γης. Έτσι είναι προτιμότερο να πούμε, «σε σχέση με την κατάσταση μηδενικής ενέργειας στην οποία το αντικείμενο βρίσκεται πάνω στο τραπέζι, το σύστημα έχει βαρυτική δυναμική ενέργεια 98J όταν το αντικείμενο βρίσκεται στη θέση μέγιστου ύψους». Παρότι αυτή η πρόταση απαιτεί περισσότερες λέξεις από την πρόταση που δίνεται στην ερώτηση, οφείλουμε στους σπουδαστές μας να παρουσιάζουμε τη φυσική με ικανοποιητικό και σωστό τρόπο, ακόμα κι αν χρειαστεί να δαπανήσουμε λίγες λέξεις παραπάνω.

Ο ισχυρισμός στην ερώτηση (2) (το θεώρημα έργου – κινητικής ενέργειας) ίσως είναι σωστός σε ειδικές περιπτώσεις αλλά δεν είναι σωστός εν γένει. Αυτός ο τρόπος απόλυτης δήλωσης χωρίς αναφορά στις συνθήκες πρέπει να αποφεύγεται γιατί οδηγεί τους σπουδαστές να πιστέψουν ότι, σ' αυτή την περίπτωση, το θεώρημα έργου – κινητικής ενέργειας είναι μια θεμελιώδης αρχή.

Ενώ η πρόταση είναι σωστή για μια κατάσταση στην οποία μια οριζόντια δύναμη ασκείται σε αντικείμενο που βρίσκεται πάνω σε λεία, οριζόντια επιφάνεια, γίνεται λανθασμένη όταν η επιφάνεια έχει τριβή ή σε οποιαδήποτε περίπτωση το έργο πάνω σ' ένα σύστημα δεν έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του μέτρου της ταχύτητας, όπως όταν σηκώνουμε ένα αντικείμενο και από χαμηλότερο το τοποθετούμε σε ψηλότερο ράφι.

Συμπέρασμα

Υπάρχουν πολλά σημεία στα οποία μπορούμε να οδηγήσουμε τους σπουδαστές μας σε λανθασμένες ερμηνείες εξαιτίας της απρόσεκτης χρήσης της γλώσσας. Η προσεκτική και σωστή χρήση των όρων και των ορισμών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αντίληψη των σπουδαστών για τις έννοιες και την ικανότητά τους να επιλύουν προβλήματα. Στο επόμενο άρθρο αυτής της σειράς, θα συζητήσουμε μια σφαιρική προσέγγιση στην ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπιστεί οποιοδήποτε ενεργειακό πρόβλημα.

Αναφορές

1. J.W. Jewett, "Energy and the confused student II: Systems," *Phys. Teach.* 46,81-86 (Feb. 2008).
2. Αυτή η πρόταση γίνεται με την υπόθεση ότι αγνοούμε την εσωτερική δομή του αντικειμένου. Αντικείμενα με εσωτερική δομή μπορούν να έχουν δυναμική ενέργεια. Για παράδειγμα, ένα ελατήριο μπορεί να έχει ελαστική δυναμική ενέργεια και ένα δοχείο βενζίνης μπορεί να έχει χημική δυναμική ενέργεια. Αυτές οι μορφές ενέργειας ωστόσο, σχετίζονται με δυνάμεις μεταξύ των συνιστωσών που δομούν το αντικείμενο όχι με δυνάμεις ανάμεσα στο αντικείμενο και άλλα αντικείμενα.
3. P.H. Romer, "Heat is not a noun," *Am. J. Phys.* 69, 107-109 (Feb.2001).
4. R.P. Bauman, "Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy," *Phys. Teach.* 30, 353-356 (Sept.1992).
5. G.M. Barrow, "Thermodynamics should be built on energy-not on heat and work," *J.Chem. Educ.* 65(2), 122-125 (Feb. 1988).
6. Μια και ο ίδιος είμαι συγγραφέας εγχειριδίου, δεν προσδιορίζω με ακρίβεια προβληματικές προτάσεις στα εγχειρίδια άλλων συγγραφέων σ' αυτή την σειρά των άρθρων. Δεν επιθυμώ αυτή η σειρά να φανεί σαν διαφημιστικό εργαλείο αλλά περισσότερο ως επαγγελματική επικοινωνία που προσφέρει ένα σύνολο προτάσεων για τη βελτίωση της διδασκαλίας της ενέργειας στους σπουδαστές μας. Παρουσιάζω κομμάτια από διάφορα εγχειρίδια ως γενικές κατευθύνσεις και όχι αυτούσια.
7. J.W. Jewett, "Energy and the confused student IV:A global approach to energy," *Phys. Teach.* To be published in April 2008
8. R. Baierlein, "Does nature converts mass into energy?" *Am.J.Phys.* 75, 320-325 (April 2007).