

# Το φυσικό μέγεθος Ενέργεια



Πάνος Μουρούζης 2023

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία αναφορά του Νομπελίστα Φυσικού Feynman σχετική με τη διδασκαλία του μεγέθους της ενέργειας, θεωρώ ότι ίσως είναι η καλύτερη εισαγωγή για το θέμα:

*Το απόσπασμα της ομιλίας του...*

Υπάρχει ένα βιβλίο φυσικών επιστημών το οποίο, στο πρώτο μάθημα αρχίζει με ατυχή τρόπο να διδάσκει επιστήμη, επειδή ξεκινά από μια λανθασμένη ιδέα για το τι είναι επιστήμη. Υπάρχει μια πρώτη εικόνα ενός σκύλου, ένας σκύλος-παιχνίδι, και ένα χέρι έρχεται στο κουρδιστήρι και μετά ο σκύλος μπορεί να κινηθεί. Κάτω από την τελευταία εικόνα, γράφει «Τι το κάνει να κινείται;». Μετά, υπάρχει μια εικόνα ενός πραγματικού σκύλου και η ερώτηση «Τι τον κάνει να κινείται;». Στη συνέχεια, υπάρχει μια εικόνα μιας μοτοσυκλέτας και η ερώτηση «Τι την κάνει να κινείται;» κ.ο.κ.

Στην αρχή νόμιζα ότι ετοιμάζονταν να πουν με τι πράγματα ασχολείται η επιστήμη. Η Φυσική, η Βιολογία, η Χημεία. Αλλά δεν ήταν αυτό. Η απάντηση ήταν στην έκδοση του βιβλίου για τον δάσκαλο... η απάντηση που προσπαθούσα να μαντέψω ήταν ότι «η ενέργεια τα κάνει να κινούνται».

Τώρα, η ενέργεια είναι μια πολύ λεπτή έννοια. Είναι πολύ, πολύ δύσκολο να την πλησιάσεις. Αυτό που εννοώ είναι ότι δεν είναι εύκολο να κατανοήσεις την ενέργεια αρκετά καλά για να τη χρησιμοποιήσεις, ώστε να μπορέσεις να συμπεράνεις, π.χ. να προβλέψεις, κάτι σωστά, χρησιμοποιώντας την. Πέρα από το ότι αυτό δοκιμάζουν να το κάνουν στην πρώτη τάξη. Θα ήταν εξίσου «σωστό» να πούμε ότι «ο Θεός το κάνει να κινείται» ή «ένα πνεύμα το κάνει να κινείται» ή «η κινητικότητα το κάνει να κινείται». Στην πραγματικότητα, εξίσου καλά θα μπορούσε κάποιος να πει «η ενέργεια το κάνει να σταματάει».

Δείτε το ως εξής: Θα μπορούσαμε να πούμε ότι όταν κάτι μπορεί να κινηθεί έχει ενέργεια μέσα του, αλλά όχι ότι αυτό που το κάνει να κινείται είναι ενέργεια. Αυτή είναι μια πολύ λεπτή διαφορά. Τη συναντάμε και με την έννοια της αδράνειας.

Ίσως μπορώ να κάνω τη διαφορά λίγο πιο ξεκάθαρη ως εξής: Αν ρωτήσετε ένα παιδί τι κάνει το σκυλί-παιχνίδι να κινείται, θα πρέπει να σκεφτείτε τι θα απαντούσε ένας συνηθισμένος άνθρωπος. Η απάντηση είναι ότι αφού έσφιξε το ελατήριο, αυτό προσπαθεί να χαλαρώσει και σπρώχνει το γρανάζι.

Τι καλός τρόπος για να ξεκινήσετε ένα μάθημα επιστήμης! Διαλύστε το παιχνίδι. Δείτε πώς δουλεύει. Δείτε την εξυπνάδα των γραναζιών. Δείτε τις καστάνιες. Μάθετε κάτι για το παιχνίδι, τον τρόπο συναρμολόγησης του παιχνιδιού, την ευρηματικότητα των ανθρώπων που επινόησαν τις καστάνιες και άλλα πράγματα. Αυτό είναι καλό. Η ερώτηση είναι μια χαρά. Η απάντηση είναι ατυχής, γιατί αυτό που προσπαθούσαν να κάνουν με την ερώτηση ήταν να διδάξουν τον ορισμό του τι είναι ενέργεια. Αλλά δεν μαθαίνεται απ' αυτό.

Ας υποθέσουμε ότι ένας μαθητής θα έλεγε: «Δεν νομίζω ότι η ενέργεια το κάνει να κινείται». Πού θα πάει η συζήτηση από εκεί και μετά;

Τελικά βρήκα έναν τρόπο να μπορείτε να ελέγξετε αν έχετε διδάξει μια επιστημονική ιδέα ή έχετε διδάξει μόνο έναν ορισμό.

Δοκιμάστε το με αυτόν τον τρόπο: λέτε, «χωρίς να χρησιμοποιήσετε τη νέα λέξη που μόλις μάθατε, προσπαθήστε να επαναδιατυπώσετε αυτό που μόλις μάθατε στη γλώσσα σας». Χωρίς να χρησιμοποιήσετε τη λέξη ενέργεια, πείτε μου τι γνωρίζετε τώρα για την κίνηση του σκύλου. Δεν μπορείτε; Άρα δεν μάθατε τίποτα για την επιστήμη. Και αυτό δεν είναι κακό. Μπορεί να μην θέλετε να μάθετε κάτι για την επιστήμη αμέσως». Αλλά για πρώτο μάθημα, αυτό δεν είναι κάπως καταστροφικό;

Νομίζω ότι για το νούμερο ένα μάθημα, το να μάθεις μια μυστικιστική φόρμουλα για να απαντάς σε ερωτήσεις είναι πολύ κακό. Το βιβλίο έχει και άλλα αδιανόητα: «η βαρύτητα το κάνει να πέφτει». «Οι σόλες των παπουτσιών σου φθείρονται λόγω τριβής»... Το δέρμα των παπουτσιών φθείρεται γιατί τρίβεται στο πεζοδρόμιο και οι μικρές εγκοπές και τα χτυπήματα στο πεζοδρόμιο αρπάζουν κομμάτια και τα τραβούν. Το να πούμε απλά ότι είναι λόγω τριβής, είναι λυπηρό, γιατί δεν δείχνει πώς δουλεύουν τα πράγματα. Δεν είναι επιστήμη.

Ο πατέρας μου ασχολήθηκε λίγο με την ενέργεια και χρησιμοποίησε τον όρο αφού πήρα πρώτα μια ιδέα για αυτή. Ξέρω τι θα έκανε αν ήθελε να δώσει το ίδιο μάθημα με το παράδειγμα του μηχανικού σκύλου. Θα απαντούσε:

-Κινείται γιατί λάμπει ο ήλιος

Και θα έλεγα,

-Όχι. Τι σχέση έχει αυτό με τον ήλιο που λάμπει; Κουνήθηκε επειδή τύλιξα τα ελατήρια

-Και γιατί, φίλε μου, μπορείς να κινηθείς και να τυλίξεις τα ελατήρια;

-Τρώω

-Τι τρως, φίλε μου;

-Τρώω φυτά

-Και πώς μεγαλώνουν;

-Μεγαλώνουν επειδή λάμπει ο ήλιος.

-Και συμβαίνει το ίδιο και με τον πραγματικό σκύλο.

-Τι γίνεται με τη βενζίνη;

-Είναι συσσωρευμένη ενέργεια του ήλιου, η οποία συλλέγεται από τα φυτά και διατηρείται στο έδαφος.

Όλα τα παραδείγματα τελειώνουν με τον ήλιο. Και έτσι η ίδια ιδέα για τον κόσμο στον οποίο οδηγεί το σχολικό μας βιβλίο διατυπώνεται με πολύ συναρπαστικό τρόπο. Όλα τα πράγματα που βλέπουμε ότι κινούνται, κινούνται επειδή ο ήλιος λάμπει. Εξηγεί τη σχέση μιας πηγής ενέργειας με μια άλλη και κυρίως τα παιδιά είναι πολύ πιθανό να την αρνηθούν. Θα μπορούσαν να πουν,

-Δεν νομίζω ότι οφείλεται στον ήλιο που λάμπει

Οπότε και μπορείτε να ξεκινήσετε μια συζήτηση. Αργότερα θα μπορούσατε να τα προκαλέσετε με τις παλίρροιες, και με αυτό που κάνει τη γη να γυρίζει, και να έχετε πάλι στο χέρι σας ένα μυστήριο.

Αυτό είναι απλώς ένα παράδειγμα της διαφοράς μεταξύ των ορισμών (που είναι απαραίτητοι και αφορούν τη γλώσσα) και της επιστήμης που χρησιμοποιεί, πέρα των άλλων, τη γλώσσα. Η κύρια ένσταση στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν ότι επρόκειτο για το πρώτο μάθημα. Ο ορισμός σίγουρα πρέπει να μπει αργότερα, και να σας λέει τι είναι ενέργεια, αλλά όχι με βάση μια ερώτηση όπως «τι κάνει έναν σκύλο, παιχνίδι, να κινείται;» Σε μια τέτοια ερώτηση πρέπει να δοθεί η απάντηση του παιδιού. «Ανοίξτε το· να το δούμε». Όχι ένας ορισμός της ενέργειας.

Η ενέργεια είναι ένα από τα σπουδαιότερα μεγέθη που εξετάζει η Φυσική, αφού είναι γνωστό τοις πάσι ότι όλοι οι πόλεμοι που γίνονται στα διάφορα μέρη του πλανήτη, ως κύριο στόχο έχουν τον έλεγχο των ενεργειακών πόρων και περασμάτων. Αφορμή της συγγραφής αυτού του σημειώματος αποτέλεσε ένα βιβλίο Φυσικής του προπερασμένου αιώνα που τυχαία έπεσε στα χέρια μου στη Δημόσια Βιβλιοθήκη Κέρκυρας και το οποίο είχε ως τίτλο: «**Φυσική-Η επιστήμη των ενεργειακών μετατροπών**» υπονοώντας ότι το μέγεθος της ενέργειας είναι τόσο βασικό που η φυσική επιστήμη δεν είναι τίποτε άλλο παρά η μελέτη του μεγέθους αυτού και των μετατροπών του.

Γύρω από το μέγεθος της ενέργειας υπάρχουν πολλές παρανοήσεις. Για αρχή ας επιχειρήσει ο αναγνώστης να διακρίνει ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι αληθείς και ποιες ψευδείς.

- ▶ Η ανθρωπότητα έχει διαρκώς ανάγκη από περισσότερη ενέργεια.
- ▶ Η ενέργεια του πλανήτη διαρκώς ελαττώνεται
- ▶ Η θετική ενέργεια συμβάλλει στην καλή λειτουργία του πλανήτη
- ▶ Η ενέργεια είναι ένα φυσικό μέγεθος που δεν ορίζεται απόλυτα και ούτε μετριέται
- ▶ Με τα κύματα έχουμε μεταφορά ενέργειας αλλά δεν έχουμε μεταφορά ύλης
- ▶ Η πυρηνική ενέργεια οφείλεται στη μετατροπή της μάζας σε ενέργεια
- ▶ Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μολύνουν λιγότερο το περιβάλλον
- ▶ Για να έχουμε περισσότερα αγαθά θα πρέπει να καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια
- ▶ Η ενέργεια είναι το αίτιο της κίνησης των πάντων
- ▶ Μπορούμε ν' αντλήσουμε ενέργεια από το νερό.

Στο τέλος του σημειώματος θα δοθούν οι σωστές κατά τον συγγραφέα απαντήσεις.

# Περιεχόμενα

<b>Το Έργο ( Η πηγή των καταναλωτικών αγαθών)</b>	<b>7</b>
<b>Ο χρυσός κανόνας της μηχανικής – το έργο διατηρείται</b>	<b>10</b>
<i>Η Δυναμική Ενέργεια</i>	12
<i>Η δυναμική ενέργεια ενός σώματος και η δυναμική ενέργεια ενός συστήματος σωμάτων</i>	12
<b>Η Κινητική Ενέργεια</b>	<b>13</b>
<b>Μηχανική Ενέργεια. Μία 2η αρχή διατήρησης</b>	<b>14</b>
<b>Θερμικά Φαινόμενα</b>	<b>15</b>
<i>Θερμότητα – Θερμική ενέργεια. Μια 3<sup>η</sup> αρχή διατήρησης</i>	15
<i>Με πόσους άραγε τρόπους μπορούμε να ζεστάνουμε ένα σώμα;</i>	16
1. Διάδοση θερμότητας με αγωγή	16
2. Διάδοση θερμότητας με ρεύματα μεταφοράς	16
3. Θέρμανση μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας	17
4. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια του ηλεκτρισμού	18
5. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια της τριβής	18
6. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια της χημείας	18
<i>Πως μπορούμε άραγε να κρυώσουμε ένα σώμα;</i>	19
<b>Συγγένεια της θερμότητας με το έργο - εσωτερική ενέργεια</b>	<b>20</b>
<i>Μία 4<sup>η</sup> αρχή διατήρησης</i>	20
<b>Ο 2<sup>ος</sup> θερμοδυναμικός νόμος</b>	<b>22</b>
<i>Η κατάργηση ενός «λανθασμένου» ορισμού για την ενέργεια</i>	22
<b>Η ηλεκτρική ενέργεια</b>	<b>23</b>
<i>Μια ενέργεια που κινεί όλο το πλανήτη</i>	23
<i>Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από μία παρομοίωση</i>	24
<b>Μορφές ενέργειας και τρόποι - διαδικασίες μεταφοράς ή μετατροπής της</b>	<b>26</b>
<b>Σχέση μάζας και ενέργειας</b>	<b>28</b>
<i>Μια ακόμη ενοποίηση. Η αρχή διατήρησης της υλοενέργειας</i>	28
<b>Η Αρχή της Ελαχίστης Ενέργειας</b>	<b>30</b>
<i>Η Α.Ε.Ε Στη Μηχανική:</i>	31
<i>Η Α.Ε.Ε Στον Ηλεκτρισμό</i>	33
<i>Η Α.Ε.Ε Στην Οπτική</i>	34
<i>Η Α.Ε.Ε Στη Θερμότητα</i>	34
<i>Η Α.Ε.Ε Στην Ατομική – Πυρηνική Φυσική</i>	35

<i>Η Α.Ε.Ε Στη Χημεία</i>	37
<i>Η ενέργεια και η χρονική συμμετρία</i> <i>(άλλες αρχές διατήρησης)</i>	39
<b>ΟΙ 10 ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ.....</b>	<b>41</b>

## Το Έργο ( ο τρόπος παραγωγής όλων των καταναλωτικών αγαθών)

Η έννοια του έργου είναι πολύ στενά συνδεδεμένη με την έννοια της ενέργειας. Τόσο που ακόμη και καθηγητές της μέσης εκπαίδευσης ταυτίζουν τις δύο έννοιες, διδάσκοντας ότι ενέργεια είναι η ικανότητα παραγωγής έργου. Ορισμός για την ενέργεια που δίνουν αρκετά σχολικά βιβλία! Γι' αυτό και ξεκινάμε από την έννοια του έργου για να καταλήξουμε στην έννοια της ενέργειας που είναι και το αντικείμενο μελέτης μας. Αλλά τι ενδιαφέρον θα μπορούσε να προκαλέσει στον αναγνώστη η έννοια του έργου (της εργασίας δηλαδή ή πιο απλά της δουλειάς) αφού όλη η προσπάθεια γίνεται ,από τη πλειοψηφία των αναγνωστών ελπίζω, για την ελαχιστοποίηση της; Πριν όμως αναφερθούμε αυτού καθ' αυτού στο έργο πρέπει να επισημάνουμε τη μεγάλη διαφορά που έχει ή μπορεί να έχει μια έννοια όπως το έργο στην καθημερινή γλώσσα και στην επιστημονική.

Πολλές λέξεις είναι κοινές τόσο στην καθομιλουμένη όσο και στην επιστήμη, όπως οι λέξεις: *έργο, ενέργεια ισχύς* Άλλες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στην επιστήμη όπως: *εντροπία, κουάρκ, μαγνητική ροή* κτλ

Εμείς θ' αναφερθούμε στην επιστημονική έννοια του έργου. Η έννοια αυτή πλησιάζει περισσότερο την έννοια της χειρωνακτικής εργασίας που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή παρά τη γενικότερη έννοια της εργασίας, που περιλαμβάνει και την παροχή υπηρεσιών, την τέχνη κτλ. Η χειρωνακτική βέβαια εργασία είναι ελάχιστη στις μέρες μας, αφού την έχουν αναλάβει διάφορες μηχανές. Κάποτε όμως ήταν έργο των δούλων (υπηρέτης =αυτός που κωπηλατεί κάτω) και των ζώων.(π.χ όργωμα με βόδια, μεταφορές με άλογα κτλ.)

Η δημιουργία οποιουδήποτε καταναλωτικού αγαθού, ενός ρούχου ενός σπιτιού, ενός αυτοκινήτου κτλ απαιτεί έργο. Έτσι μια χώρα παράγει τόσο περισσότερα αγαθά όσο περισσότερες μηχανές διαθέτει. Οι μηχανές ως επί το πλείστον βρίσκονται στα εργοστάσια (έργο + στέκομαι) που τελικά όπως φανερώνει και η ετυμολογία της λέξης σημαίνει ένα χώρο στον οποίο παράγεται έργο. Άρα όσο περισσότερα εργοστάσια διαθέτει μία χώρα, όσο μεγαλύτερη βιομηχανία διαθέτει δηλαδή, τόσο περισσότερα αγαθά παράγει. Υπάρχει όμως ένας επιστημονικός τρόπος αξιολόγησης του έργου που παράγει μια μηχανή; Αυτό θα ενδιέφερε πολύ έναν εργοστασιάρχη.

Πράγματι υπάρχει ένας ακριβής τρόπος αξιολόγησης του έργου που παράγει μία μηχανή και αυτό τον ορισμό του έργου όπως το λέμε επιστημονικά, θα προσπαθήσουμε να τον δώσουμε μέσα από ένα παραμύθι:

Κάποτε, στα πολύ παλιά χρόνια, ζούσε ένας Φαραώ, που κατά μυστήριο τρόπο διακρίνονταν για τη δικαιοσύνη του, ήταν δηλαδή κάτι σαν τον δίκαιο Αριστείδη. Ο Φαραώ λοιπόν αυτός έκτιζε μια πυραμίδα(το τάφο του που λέμε..).Οι εργάτες του, για ν' απλοποιήσουμε το πρόβλημα, μετέφεραν όμοιες ακριβώς πέτρες από το λατομείο στο χώρο που επρόκειτο να κτιστεί η πυραμίδα και πληρώνονταν σε σιτάρι.

Για το πως θα έκανε τις πληρωμές ώστε να είναι δίκαιες, ο Φαραώ απευθύνθηκε στο σοφό του λογιστή. Ο λογιστής του σκέφτηκε ως εξής: αν πάρουμε δύο εργάτες που μεταφέρουν σε οριζόντιο δρόμο ίσο αριθμό από πέτρες και ο ένας τις μεταφέρει σε διπλάσια απόσταση από τον άλλο τότε θα πρέπει ν' αμειφθεί με διπλάσια ποσότητα από σιτάρι, αφού παρήγαγε διπλάσιο έργο. Αυτά τα μεγέθη που όταν διπλασιάζεται το ένα διπλασιάζεται και το άλλο λέγονται ανάλογα. Έτσι εύκολα συμπέρανε ότι:

$$(1) \quad W \sim S \quad \text{όπου } W = \text{work}(\text{έργο}) \\ S = \text{space}(\text{διάστημα})$$

Με τον ίδιο συλλογισμό εύκολα συμπέρανε ότι εάν η απόσταση που μετέφεραν δύο εργάτες τις πέτρες ήταν η ίδια ,τότε το έργο θα ήταν ανάλογο με τον αριθμό από πέτρες που μεταφέρει ο κάθε εργάτης. Οπότε εάν με  $N$  συμβολίσουμε τον αριθμό από πέτρες θα έχουμε:

$$(2) \quad W \sim N$$

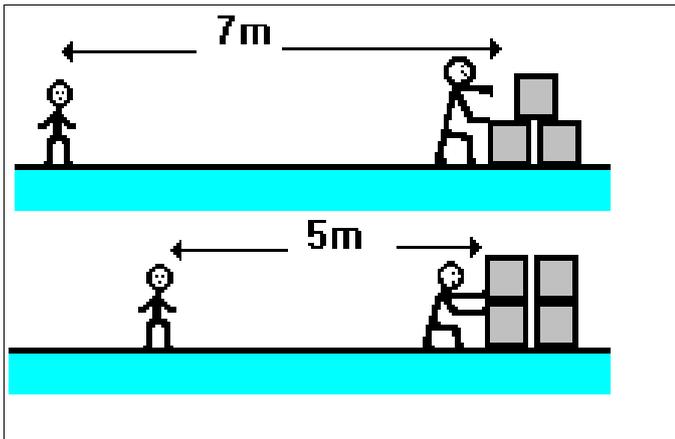
Από τις σχέσεις (1) και (2) ο λογιστής όρισε το έργο ως το γινόμενο:

$$(3) \quad W = S \cdot N$$

Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό πλέον έκανε τις πληρωμές. Ας δώσουμε ένα παράδειγμα.

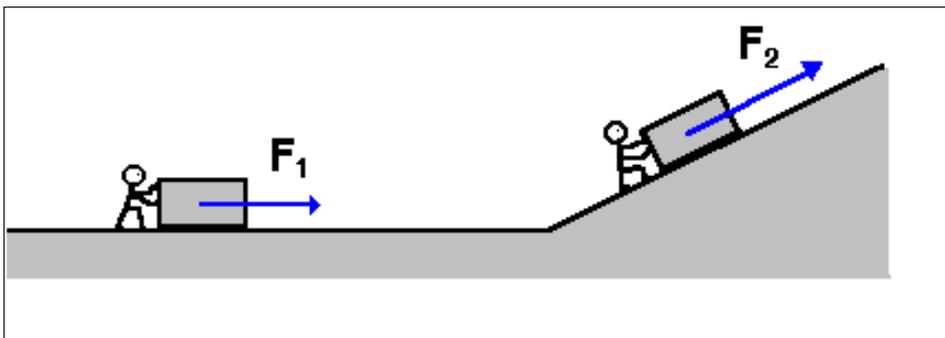
Εαν ένας εργάτης μεταφέρει 3 πέτρες σε απόσταση 7m και παίρνει 1Kg σιτάρι τότε κάποιος άλλος εργάτης που μεταφέρει 4 πέτρες σε απόσταση 5m πόσο σιτάρι πρέπει να πάρει;

Αυτό είναι εύκολο να βρεθεί χρησιμοποιώντας τον παραπάνω ορισμό του έργου ως εξής.  
ο πρώτος εργάτης παρήγαγε έργο  $W_1=7 \times 3=21$  μονάδες έργου και πήρε 1000gr σιτάρι.  
Ο δεύτερος εργάτης που παρήγαγε  $W_2=5 \times 4=20$  μονάδες έργου πόσο σιτάρι πρέπει να πάρει;  
Με την απλή μέθοδο των τριών βρίσκουμε εύκολα ότι πρέπει να πάρει 952gr σιτάρι.



Σχ. 1

Κάποια μέρα όμως ο Φαραώ, κάνοντας μια επιθεώρηση στο έργο της κατασκευής της πυραμίδας, είδε την παρακάτω εικόνα (σχ 2). Δύο εργάτες μετέφεραν τις ίδιες πέτρες στην ίδια απόσταση, ο ένας όμως σε ίσο δρόμο και ο άλλος σε ανηφόρα. Σύμφωνα με τον ορισμό του έργου οι δύο εργάτες παίρνανε το ίδιο σιτάρι πράγμα το οποίο είναι προφανώς άδικο, αφού ο δεύτερος εργάτης κουραζόταν περισσότερο από τον πρώτο.



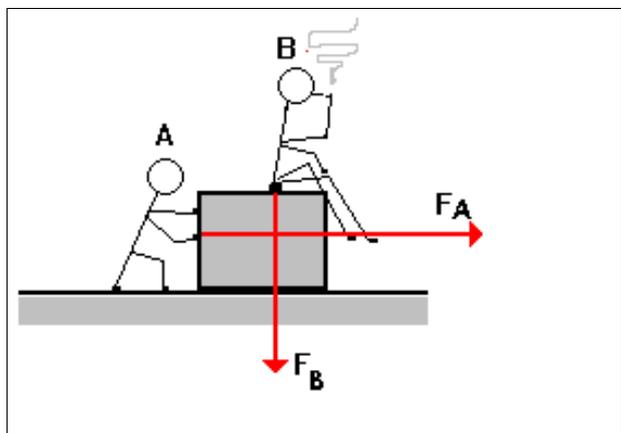
Σχ. 2

Έτσι πήγε στο λογιστή του και του διαμαρτυρήθηκε ότι ο ορισμός του έργου που εφαρμόζε ήταν άδικος. Ο λογιστής σκέφτηκε και είδε ότι για τον υπολογισμό του έργου δεν έχει μόνο σημασία ο αριθμός από πέτρες που κουβαλάει ο κάθε εργάτης, αλλά και η δύναμη που χρειάζεται να ασκήσει ο κάθε εργάτης για να μετακινήσει την κάθε πέτρα. Έτσι διόρθωσε τον ορισμό ως εξής:

$$W = F_{\text{μια πέτρα}} \times N_{\text{αριθμός από πέτρες}} \times S_{\text{διάστημα}} = F_{\text{ολ}} \times S$$

Ο εργάτης λοιπόν που έσπρωχνε στην ανηφόρα θα έπαιρνε περισσότερο σιτάρι, αφού για να μετακινήσει την κάθε πέτρα ασκούσε μεγαλύτερη δύναμη.

Σε κάποια άλλη επιθεώρησή του ο Φαραώ διαπίστωσε το εξής εκπληκτικό: ο εργάτης B που φαίνεται στο σχήμα 3 (και κατά σύμπτωση ήταν Έλληνας) πληρωνόταν κανονικά, αφού σύμφωνα με τον ορισμό του έργου, ασκούσε δύναμη ( ίση με το βάρος του ) στη πέτρα και ταυτόχρονα υπήρχε και η μετατόπιση, που προκαλούσε όμως ο άλλος εργάτης ο A.



Σχ.3

Ο Φαραώ αγανακτισμένος απευθύνθηκε ξανά στο λογιστή του, ο οποίος διόρθωσε για άλλη μια φορά τον ορισμό του έργου και έδωσε τον εξής: (τελευταία φορά ευτυχώς).

$$W \rightarrow \begin{cases} = F \cdot S & \text{Όταν η δύναμη είναι παράλληλη στη μετατόπιση} \\ = 0 & \text{Όταν η δύναμη είναι κάθετη στη μετατόπιση} \end{cases}$$

Αυτός ο ορισμός ισχύει ακόμη και σήμερα και αξιολογεί επακριβώς το έργο που παράγει μια μηχανή. Το έργο στη μονάδα του χρόνου για ιστορικούς λόγους μετριέται σε ίππους και όταν λέμε ότι το τάδε αμάξι είναι τόσων ίππων, κάτι που σίγουρα έχετε ακούσει, εννοούμε ότι μπορεί να παράγει έργο τόσων ίππων στη μονάδα του χρόνου.

## Μία 1<sup>η</sup> αρχή διατήρησης

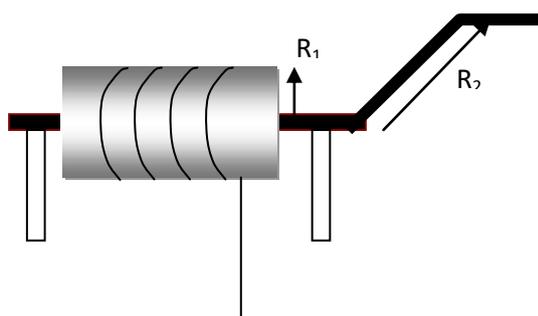
### Ο χρυσός κανόνας της μηχανικής – το έργο διατηρείται

Η φυσική επιστήμη εξετάζει τις μεταβολές που συμβαίνουν στη φύση. Και μάλιστα όχι όλες. Εξετάζει αυτές που δεν έχουμε αλλαγή στη σύσταση των ουσιών. Τις αλλαγές κατά τις οποίες έχουμε και αλλαγή της σύστασης τις εξετάζει η χημεία. Έτσι όταν ένα σώμα αλλάζει ταχύτητα ή θερμοκρασία ή φάση ( δηλαδή από υγρό γίνεται στερεό, ή αέριο κλπ) τότε αυτές τις αλλαγές τις εξετάζει η φυσική. Οι αλλαγές που συμβαίνουν στη φύση είναι πολλές και πολύπλοκες. Έτσι αν σε κάποιο φαινόμενο κάποια φυσική ποσότητα παραμένει σταθερή, τότε έχουμε αποκτήσει μία γνώση του φαινομένου, αφού μέσα στην πολυπλοκότητα και στις αλλαγές που συμβαίνουν ανακαλύψαμε κάτι σταθερό. Τότε λέμε ότι έχουμε ανακαλύψει έναν νόμο διατήρησης. Οι νόμοι διατήρησης είναι οι σπουδαιότεροι νόμοι της φυσικής.

Σε πολλά φυσικά φαινόμενα έχουμε παρατηρήσει ότι το έργο διατηρείται. Δηλαδή το γινόμενο  $F \times S$  παραμένει σταθερό, οπότε μπορούμε να φτιάξουμε ένα τέχνημα που να κερδίζουμε σε δύναμη. Όταν όμως κερδίζουμε σε δύναμη, τότε θα χάνουμε σε διάστημα, αφού το γινόμενο θα πρέπει να μένει σταθερό. Ας δούμε τα παραπάνω με ένα παράδειγμα.

Φανταστείτε ότι βρισκόμαστε πριν από 100 χρόνια σ' ένα από τα μοναστήρια των Μετεώρων. Όπως ίσως θα γνωρίζετε, σ' αυτά τα πολύ γραφικά μοναστήρια κτισμένα σε πανύψηλους βράχους, η πρόσβαση των καλόγερων σ' αυτά γινόταν μ' έναν πολύ γραφικό αλλά κουραστικό τρόπο που σώζεται ακόμη και σήμερα. Ο καλόγερος που ήθελε ν' ανέβει ή να κατέβει από το μοναστήρι έμπαινε σ' ένα καλάθι και με σκοινιά κάποιος άλλος καλόγερος τον ανέβαζε ή τον κατέβαζε. Έτσι αν για παράδειγμα έμπαινε στο καλάθι ένας ευτραφής καλόγερος των  $100\text{Kg}^1$  θα έπρεπε ο καλόγερος που τον ανέβαζε να ασκούσε δύναμη τουλάχιστον  $100\text{Kg}$  αφού θα έπρεπε και να σηκώσει το βάρος του σκοινιού και του καλάθιού. Και αν το ύψος που τον ανέβαζε ήταν για παράδειγμα  $50\text{m}$ , θα έπρεπε να δαπανήσει έργο τουλάχιστον  $5000\text{KJ}$ .

Κάποια μέρα όμως ένα ιδιαίτερα έξυπνος καλόγερος έφτιαξε μια μηχανή με την οποία όπως ισχυριζόταν, για να ανεβάσει έναν άνθρωπο  $100\text{Kg}$  έπρεπε να ασκήσει δύναμη μόνο  $20\text{Kg}$ . Η μηχανή αυτή δεν ήταν τίποτε άλλο παρά ένας μεγάλος κύλινδρος με μια μανιβέλα, γύρω από τον οποίο τυλιγόταν το σκοινί. Η μηχανή αυτή είναι γνωστή ως βαρούλκο. Η ακτίνα του κυλίνδρου είναι πέντε φορές μικρότερη από την ακτίνα της μανιβέλας όπως φαίνεται στο σχήμα.



Πράγματι μια τέτοια μηχανή ελαττώνει τη δύναμη που απαιτείται για την ανύψωση ενός βάρους κατά 5 φορές. Εάν όμως μετρήσουμε το διάστημα που διανύει το χέρι μας για μια περιστροφή του βαρούλκου, εύκολα θα διαπιστώσουμε ότι είναι τουλάχιστον πέντε φορές περισσότερο από το μήκος του σκοινιού που τυλίχθηκε στον κύλινδρο. Έτσι για να ανεβάσουμε τον καλόγερο κατά  $50\text{m}$  θα χρειαστεί να διανύσει το χέρι μας διάστημα  $250\text{m}$ . Με άλλα λόγια ότι κερδίσαμε σε δύναμη, χάσαμε σε διάστημα. Το έργο που χρειάστηκε να δαπανήσουμε είναι το ίδιο. Έτσι καταλήξαμε στο χρυσό κανόνα της μηχανικής. Σε κάποια τεχνήματα

**ΔΥΝΑΜΗ x ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ = ΣΤΑΘΕΡΟ → ΤΟ ΕΡΓΟ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ ΣΤΑΘΕΡΟ**

<sup>1</sup>  $1\text{Kg}$  ονομάζουμε το βάρος ενός σώματος που έχει μάζα  $1\text{Kg}$

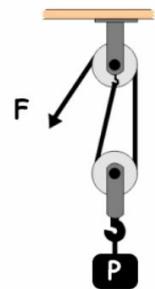
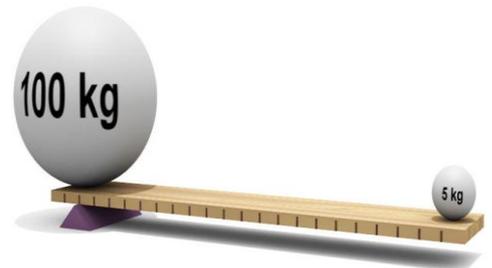
## Η Ενέργεια

Μια μηχανή όπως το βαρούλκο που περιγράψαμε, που στηρίζεται στο χρυσό κανόνα της μηχανικής, λέγεται απλή μηχανή. Αν δούμε γύρω μας και σκεφτούμε λιγάκι, θα διαπιστώσουμε ότι κάθε μέρα γινόμαστε χρήστες πολλών απλών μηχανών. Η πιο απλή μηχανή από τις «απλές μηχανές» είναι το **κεκλιμένο επίπεδο**.

Φαντασθείτε έναν άνθρωπο που θέλει να φορτώσει σ' ένα φορτηγό βαρέλια. Ένας τρόπος είναι να τα σηκώνει κατά 1m περίπου τοποθετώντας τα στο φορτηγό. Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσει ένα μεγάλο κομμάτι ξύλου, μαδέρι, και πάνω σ' αυτό να κυλήσει τα βαρέλια και να τα τοποθετεί στο φορτηγό. Η απόσταση που θα διανύει το κάθε βαρέλι θα είναι σαφώς μεγαλύτερη από 1m, αλλά η δύναμη που θα απαιτείται για τη κύλιση του βαρελιού θα είναι μικρότερη. Με την ίδια περίπου τεχνική κατασκευάστηκαν πριν από χιλιάδες χρόνια οι πυραμίδες. Με τη χρήση των κεκλιμένων επιπέδων που εύκολα τα έφτιαχναν με την άφθονη άμμο που υπήρχε γύρω, καθώς και με τη χρήση κορμών δέντρων και λαδιού ώστε να ελαττωθούν οι τριβές.



Μια σκάλα, μια βίδα, το πόμολο της πόρτας, ένα ανοικτήρι, ένα τιμόνι, ένα κατσαβίδι, ένας γρύλος, τα φρένα του αυτοκινήτου, ένα κλειδί, μια βρύση κτλ δεν είναι τίποτε άλλο παρά απλές μηχανές που στηρίζονται στο χρυσό κανόνα της μηχανικής. Οι απλές μηχανές είχαν ανακαλυφθεί πολύ παλιά από τον άνθρωπο. Τη σαφή όμως διατύπωση του χρυσού κανόνα την έκανε για πρώτη φορά ο μεγάλος Αρχιμήδης. Αφορμή γι' αυτό όπως λέει ο μύθος, στάθηκε ένα πρόβλημα που έθεσε ο βασιλιάς των Συρακουσών στον σοφό Αρχιμήδη. Το πρόβλημα ήταν πως θα μπορούσε να ρίξει τη ναυαρχίδα που είχε φτιάξει στα ναυπηγεία στη θάλασσα, αφού στάθηκε αδύνατο όσοι σκλάβοι και αν χρησιμοποιήθηκαν να μετακινηθεί έστω και λίγο το τεράστιο πλοίο που είχαν φτιάξει οι ναυπηγοί του βασιλιά. Ο μύθος λέει ότι ο Αρχιμήδης, φτιάχνοντας ένα πολύπλοκο σύστημα τροχαλιών και ανακαλύπτοντας βασικά τον χρυσό νόμο της μηχανικής, μπόρεσε με το ένα του χέρι και έριξε το πλοίο στη θάλασσα. Μπορεί ο μύθος ν' απέχει από την πραγματικότητα, αλλά κοιτώντας έναν σύγχρονο γερανό που με το ένα χέρι του ο οδηγός μπορεί και σηκώνει μερικούς τόνους φορτίο, στηριζόμενος στην ίδια απλή αρχή του χρυσού νόμου της μηχανικής, δεν μπορούμε παρά να θαυμάσουμε το μεγαλείο του πνεύματος μερικών ανθρώπων.



Με τις απλές μηχανές μπορεί να κερδίζουμε σε δύναμη αλλά δεν κερδίζουμε σε έργο. Γι αυτό μολονότι αυτές είχαν ανακαλυφθεί αρκετά νωρίς, η ανθρωπότητα πολύ αργότερα απαλλάγηκε από τη δουλεία. Το έργο που πρέπει να δαπανήσουμε για να ανεβάσουμε στο μοναστήρι έναν καλόγερο είναι το ίδιο ή και περισσότερο όταν χρησιμοποιήσουμε το βαρούλκο. Η διαφορά είναι ότι με τη χρήση του βαρούλκου μπορεί και ένας αδύναμος σχετικά καλόγερος να ανεβάσει τον ευτραφή αδελφό του. Το βαρούλκο δεν μας βοηθάει να κερδίσουμε σε έργο. Μας βοηθάει να κερδίσουμε σε δύναμη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να θέλουμε να αυξήσουμε τη δύναμη αλλά να ελαττώσουμε το διάστημα. Αυτό συμβαίνει με τις ταχύτητες του ποδηλάτου που αλλάζοντας ταχύτητα μπορούμε να διανύσουμε ένα διάστημα με λιγότερες πεταλιές, ασκώντας όμως μεγαλύτερη δύναμη.

## Η Δυναμική Ενέργεια

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, το έργο είναι ένα από τα σημαντικότερα φυσικά μεγέθη, όχι τόσο για τους φυσικούς, αλλά για ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο, αφού αυτό το μέγεθος είναι υπεύθυνο για την παραγωγή όλων των καταναλωτικών αγαθών. Όσο περισσότερο έργο παράγει μια χώρα, δηλαδή όσο περισσότερα εργοστάσια έχει, τόσο περισσότερα καταναλωτικά αγαθά διαθέτει και τόσο κατά συνέπεια υψηλότερο είναι το βιοτικό επίπεδο των πολιτών της.

Επιστρέφοντας πάλι στα μοναστήρια των μετεώρων και στον τρόπο που ανέβαιναν οι καλόγεροι σε αυτά, φανταστείτε ότι κάποια μέρα ένας ευφυής καλόγερος σκέφτηκε κάτι ακόμη πιο έξυπνο από το βαρούλκο. Χρησιμοποιώντας άλλο ένα καλάθι και μια τροχαλία, αυτό που έκανε ήταν να γεμίζει το δεύτερο καλάθι με πέτρες που υπήρχαν γύρω του. Όταν το βάρος από τις πέτρες ξεπερνούσε το βάρος του καλόγερου που επρόκειτο να ανεβάσει στο μοναστήρι, τότε το καλάθι με τις πέτρες κατέβαινε και το καλάθι με τον καλόγερο ανέβαινε. Με αυτόν τον τρόπο το έργο που χρειαζόταν για να ανεβάσει τον καλόγερο, ήταν πολύ μικρότερο. ( προφανώς είναι πολύ λιγότερος ο κόπος που κατέβαλε για να γεμίσει ένα καλάθι με πέτρες όσο το βάρος ενός καλόγερου από το ν' ανεβάσει αυτόν τον καλόγερο). Έτσι μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι πέτρες είχαν την ικανότητα να παράγουν έργο. Η ιδιότητα αυτή που είχαν οι πέτρες οφείλεται στο γεγονός ότι τις έλκει η γη με κάποια δύναμη. Γι' αυτό και την ιδιότητα αυτή την ονομάσαμε δυναμική ενέργεια. Η λέξη ενέργεια ταυτίζεται εδώ με το ετυμολογικό της περιεχόμενο, αφού δηλώνει, ότι οι πέτρες εμπεριέχουν την δυνατότητα παραγωγής έργου. Το έργο που μπορούν να παράγουν αυτές οι πέτρες θα είναι προφανώς ανάλογο από το βάρος τους και του ύψους στο οποίο βρίσκονται.

Όταν όμως οι πέτρες στο παράδειγμά μας έφθασαν στη βάση του μοναστηριού, τότε έχασαν και όλη τη δυναμική τους ενέργεια, αφού δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για να ανεβάσουν κάποιον άλλο καλόγερο. Δεν μπορούν με άλλα λόγια να παράγουν έργο. Αλλά αν εξετάσουμε λίγο καλύτερα τα πράγματα, θα διαπιστώσουμε ότι η δυναμική τους ενέργεια δεν χάθηκε ακριβώς, αλλά μεταφέρθηκε στον καλόγερο που ανέβηκε στο μοναστήρι. Και αυτό γιατί την επόμενη φορά που θέλουμε να ανεβάσουμε έναν άλλον καλόγερο, αντί να γεμίσουμε το καλάθι με πέτρες, αρκεί να τοποθετηθεί ο καλόγερος που έχει ανέβει. Έτσι αρχίζει να δημιουργείται η ιδέα της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

Ένα τεντωμένο λάστιχο, ένα συσπειρωμένο ελατήριο κτλ έχουν την ικανότητα να παράγουν έργο, λόγω του γεγονότος ότι και αυτά τα σώματα μπορούν να ασκήσουν δύναμη και να έχουμε και κάποια μετατόπιση. Γι' αυτό λέμε ότι και αυτά τα σώματα έχουν δυναμική ενέργεια. Έτσι βγάζουμε το συμπέρασμα, ότι μερικά σώματα, λόγω της θέσης τους, ή λόγω της κατάστασής τους, έχουν την ικανότητα να παράγουν έργο. Αυτήν ακριβώς την ικανότητα την ονομάζουμε **δυναμική ενέργεια**.

## Η δυναμική ενέργεια ενός σώματος και η δυναμική ενέργεια ενός συστήματος σωμάτων

Τη δυναμική ενέργεια όπως την περιγράψαμε μέχρι τώρα, την αποδώσαμε σε ένα σώμα. Αυτό όμως δεν είναι απόλυτα σωστό. Όπως αναφέραμε η δυναμική ενέργεια που έχει μία πέτρα που βρίσκεται σε κάποιο ύψος, οφείλεται στην έλξη της γης. Με άλλα λόγια η δυναμική ενέργεια είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης γης-πέτρας. Αν όμως αφήσουμε την πέτρα ελεύθερη να πέσει, η πέτρα θα κινηθεί ενώ η γη θα παραμείνει ακίνητη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γη έχει πολύ μεγαλύτερη μάζα από την πέτρα. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει στην εκτόξευση ενός βέλους από ένα τόξο ή στην βολή μίας σφαίρας από ένα όπλο. Αν είχαμε δύο σώματα με την ίδια μάζα και μεταξύ τους υπήρχε ένα λάστιχο, τεντώνοντας το λάστιχο και αφήνοντάς το ελεύθερο θα κινούντουσαν και τα δύο σώματα. Το μοίρασμα της δυναμικής ενέργειας θα ήταν δίκαιο. Αν όμως μία από τις δύο μάζες είναι πολύ μεγαλύτερη από την άλλη, τότε όλη τη δυναμική ενέργεια την παίρνει το σώμα με τη μικρότερη μάζα και την μετατρέπει σε κινητική. Τα συμπεράσματα είναι τα εξής:

## Η Ενέργεια

1. Η δυναμική ενέργεια αναφέρεται πάντα σε δύο ή περισσότερα σώματα που αλληλεπιδρούν. Δηλαδή η δυναμική ενέργεια αναφέρεται σε σώματα που μεταξύ τους ασκούνται δυνάμεις οι οποίες έχουν σχέση με την απόσταση μεταξύ των σωμάτων.
2. Αν έχουμε δύο μόνο σώματα και το ένα έχει πολύ μικρότερη μάζα από το άλλο, τότε η δυναμική ενέργεια μπορεί να αποδοθεί μόνο στο σώμα με τη μικρή μάζα και τότε μπορούμε να μιλάμε για δυναμική ενέργεια όχι συστήματος αλλά σώματος. Και αυτό γιατί όταν η δυναμική ενέργεια ελαττωθεί και μετατραπεί σε κινητική όλη η ενέργεια θα αποδοθεί στο μικρό σώμα.

## Η Κινητική Ενέργεια

Μερικά σώματα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν έργο, όχι λόγω της θέσης τους ή της κατάστασής τους, αλλά λόγω της κίνησής τους. Πχ αντί να κωπηλατούμε για να μετακινήσουμε μία βάρκα, μπορούμε να σηκώσουμε πανιά και λόγω της κίνησης του αέρα, να παράγεται το απαιτούμενο έργο για την κίνηση της βάρκας. Την ιδιότητα που έχουν τα σώματα που κινούνται να παράγουν έργο τη λέμε **κινητική ενέργεια**.

Μια μπάλα του μπιλιάρδου που κινείται έχει κινητική ενέργεια ( τόση ακριβώς όσο και το έργο που μπορεί να παράγει έως ότου σταματήσει ). Το έργο που απαιτείται ώστε ένα σώμα μάζας  $m$  ν' αποκτήσει ταχύτητα  $u$  είναι ίσο με

$$W = F \cdot s = ma \cdot s = \frac{1}{2} mu^2$$

Εάν η κινούμενη μπάλα του μπιλιάρδου κτυπήσει μετωπικά μια άλλη ακίνητη, τότε η πρώτη μετά την κρούση παραμένει ακίνητη, ενώ η δεύτερη φεύγει με τη ταχύτητα της πρώτης. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι είχαμε μεταφορά της κινητικής ενέργειας, από τη πρώτη μπάλα στη δεύτερη. Αυτή ακριβώς η μεταφορά, έγινε με τη βοήθεια του έργου. Η πρώτη μπάλα εξάσκησε δύναμη στη δεύτερη, με αποτέλεσμα να παραχθεί στη δεύτερη μπάλα τόσο έργο όση και η κινητική ενέργεια που απέκτησε. Αλλά λόγω δράσης - αντίδρασης, και στη πρώτη μπάλα ασκήθηκε δύναμη, με αποτέλεσμα να καταναλώσει και αυτή τόσο έργο, όσο ακριβώς η κινητική ενέργεια που έχασε. Το έργο στη πρώτη μπάλα είναι καταναλισκόμενο, αφού η δύναμη που της ασκείται, είναι αντίρροπη της μετατόπισης της μπάλας. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι το έργο αποκτάει φυσικό νόημα μέσω της ενέργειας. **Με άλλα λόγια το έργο είναι μία διαδικασία, ένας τρόπος μεταφοράς ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο.**

Κινητική ενέργεια έχει όπως αναφέραμε ο άνεμος. Οι ανεμογεννήτριες με αυτή την ενέργεια λειτουργούν. Κινητική ενέργεια έχει και ένα ποτάμι και ακόμη μεγαλύτερη ένας καταρράκτης. Ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στην κινητική ενέργεια ενός καταρράκτη ή απλά ενός ορμητικού ποταμού, λέγεται υδροηλεκτρικό εργοστάσιο.

## Η Μηχανική Ενέργεια

### Μία 2<sup>η</sup> αρχή διατήρησης

Αν ρίξουμε ένα σώμα προς τα πάνω με ταχύτητα  $u$  τότε αυτό θα φθάσει σε ύψος  $h = \frac{u^2}{2g}$ . Έτσι το σώμα θα

αποκτήσει δυναμική ενέργεια ίση με  $U = mgh = \frac{1}{2}mu^2$

Αφήνοντας ένα σώμα να πέσει η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σταδιακά σε κινητική. Σε κάθε θέση όμως του σώματος το άθροισμα των δύο ενεργειών, η δυναμική και η κινητική, παραμένει σταθερό. Αυτό ισχύει ακόμη και αν ρίξουμε ένα σώμα είτε κατακόρυφα προς τα πάνω είτε υπό γωνία. Το άθροισμα της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά αποδεικνύεται ότι όταν δεν υπάρχουν τριβές παραμένει σταθερό. Το άθροισμα αυτό το ονομάζουμε **μηχανική ενέργεια**.

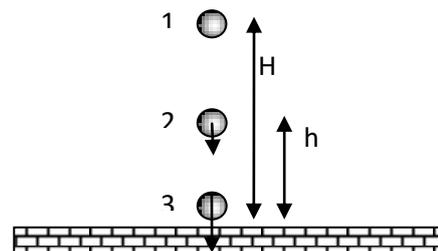
$$E_{\text{μηχ}} = K + U$$

**Απόδειξη:**

$$E_{M1} = K_1 + U_1 = 0 + mgH$$

$$E_{M2} = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}mu^2 + mgh = \frac{1}{2}m2g(H-h) + mgh = mgH$$

$$E_{M3} = K_3 + U_3 = \frac{1}{2}mu_3^2 = mgH$$



Κάθε όμως κανόνας έχει και τις εξαιρέσεις του. Μήπως αυτό συμβαίνει και με την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας; Αν για παράδειγμα ρίχναμε τις πέτρες από το μοναστήρι κάτω, όπως κάποτε κάνανε οι πολιορκούμενοι για να αποκρούσουν τους πολιορκητές, τότε φθάνοντας οι πέτρες στο έδαφος, θα χάνανε την δυναμική τους ενέργεια χωρίς αυτή να έχει μεταφερθεί σε κάποιο άλλο σώμα. Σ' αυτή τη περίπτωση η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας φαίνεται να μην ισχύει. Πότε δεν ισχύει η ΑΔΜΕ;

Ας πάρουμε το κεκλιμένο επίπεδο το οποίο όπως προαναφέραμε είναι μία απλή μηχανή. Για να ανεβάσουμε ένα βαρέλι σε ένα φορτηγό μπορούμε είτε να το σηκώσουμε είτε να το σύρουμε πάνω σε μία σανίδα. Στην πρώτη περίπτωση θα χρειαστεί να ασκήσουμε μεγαλύτερη δύναμη, αλλά το διάστημα θα είναι μικρότερο. Το έργο και στις δύο περιπτώσεις θα είναι το ίδιο. Το έργο δηλαδή σ' αυτή την περίπτωση διατηρείται. Αυτό οφείλεται στη βαρυτική δύναμη. Η δύναμη του βάρους είναι τέτοια ώστε το έργο της να μην εξαρτάται από τη διαδρομή αλλά να εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική θέση. Τέτοιου είδους δυνάμεις λέγονται **διατηρητικές** ή **συντηρητικές**. Εκτός του βάρους άλλες τέτοιες δυνάμεις είναι οι δυνάμεις ελατηρίων που υπακούουν στο νόμο του Hooke, η ηλεκτροστατική δύναμη Coulomb και άλλες. Αν μία δύναμη δεν είναι διατηρητική τότε έχουμε απώλεια της μηχανικής ενέργειας. Οι πιο συνηθισμένες μη διατηρητικές δυνάμεις είναι οι τριβές. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι εν γένει ισχύει το εξής:

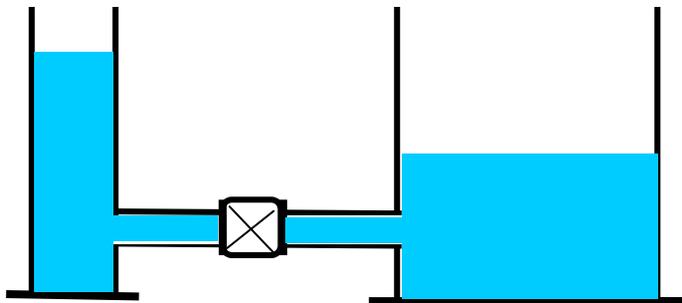
**Η μηχανική ενέργεια διατηρείται, δηλαδή παραμένει σταθερή σ' ένα σύστημα, όταν στο σύστημα ασκούνται μόνο διατηρητικές δυνάμεις. Με πιο απλά λόγια όταν δεν υπάρχουν τριβές αφού οι δυνάμεις των τριβών είναι οι συνήθεις μη διατηρητικές δυνάμεις.**

## Θερμικά Φαινόμενα

### Θερμότητα – Θερμική ενέργεια. Μια 3<sup>η</sup> αρχή διατήρησης

Μελετώντας οι άνθρωποι τα θερμικά φαινόμενα πολύ σύντομα διαπίστωσαν ότι αν δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία έρθουν σ' επαφή, τότε το ζεστότερο σώμα κρυώνει και το πιο κρύο ζεσταίνεται και αργά ή γρήγορα τα σώματα αποκτούν την ίδια θερμοκρασία. Έτσι φαντάστηκαν τη θερμότητα σαν ένα υγρό που ρέει από το ζεστό προς το κρύο αφού το φαινόμενο μοιάζει πάρα πολύ με το φαινόμενο των συγκοινωνούντων δοχείων.

#### Η εξίσωση των θερμοκρασιών και η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων.



Αν ανοίξουμε την κάνουλα, τότε θα μεταφερθεί μία ποσότητα νερού από το δοχείο που το νερό βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος ( και όχι από αυτό που έχει το περισσότερο νερό ) σε αυτό που έχει το μικρότερο. Στο τέλος τα δύο δοχεία θα έχουν πάντα νερό που φθάνει στο ίδιο ύψος. Όσο νερό έφυγε από το ένα δοχείο, τόσο πήγε στο άλλο. Τέλος, μολονότι το κάθε δοχείο μετά το άνοιγμα της κάνουλας έχει διαφορετική ποσότητα νερού, η

συνολική ποσότητα νερού είναι η ίδια.

Συγκρίνοντας τώρα αυτό το φαινόμενο με το φαινόμενο εξίσωσης των θερμοκρασιών έχουμε τις εξής αντιστοιχίες:

1. Το ύψος που φθάνει το νερό στο κάθε δοχείο αντιστοιχεί στο μέγεθος της **θερμοκρασίας**
2. Το νερό που μετακινείται από το ένα δοχείο στο άλλο αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος που οι φυσικοί το ονομάζουν **θερμότητα**.
1. Το νερό που έχει το κάθε δοχείο αντιστοιχεί σε ένα φυσικό μέγεθος που οι φυσικοί το λένε **θερμική ενέργεια**. Σ' αυτό το συμπέρασμα κατέληξαν γιατί διαπιστώθηκε πειραματικά ότι όταν αποκαθίσταται θερμική ισορροπία ανάμεσα σε δύο σώματα από το ίδιο υλικό με μάζες  $m_1$  και  $m_2$  ισχύει η σχέση

$$m_1 \cdot \Delta\theta_1 = -m_2 \Delta\theta_2 \rightarrow m_1(\theta_{1\text{τελ}} - \theta_{1\text{αρχ}}) = m_2(\theta_{2\text{αρχ}} - \theta_{2\text{τελ}}) \rightarrow m_1\theta_{1\text{αρχ}} + m_2\theta_{2\text{αρχ}} = m_1\theta_{\text{τελ}} + m_2\theta_{\text{τελ}}$$

Μ' άλλα λόγια η ποσότητα  $m \cdot \theta$  που την ονομάσαμε θερμική ενέργεια διατηρείται.

#### Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής

- Η θερμική ενέργεια ενός σώματος εξαρτάται από τη μάζα του και από τη θερμοκρασία του.
- Αν φέρουμε δύο σώματα σε επαφή η **συνολική θερμική ενέργεια παραμένει σταθερή**. Δηλαδή όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, όση θερμική ενέργεια είχαμε στην αρχή έχουμε και στο τέλος

- Η θερμότητα ρέει πάντα από το σώμα που έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία στο σώμα που έχει τη μικρότερη μέχρις ότου εξισωθούν οι θερμοκρασίες.
- Το σώμα που παίρνει θερμότητα αυξάνει την θερμοκρασία του άρα και τη θερμική του ενέργεια. Το σώμα που δίνει θερμότητα, ελαττώνεται η θερμοκρασία του, άρα και η θερμική του ενέργεια.

## Με πόσους άραγε τρόπους μπορούμε να ζεστάνουμε ένα σώμα;

Η απάντηση είναι με πολλούς. Ο πιο απλός από όλους είναι να φέρουμε το σώμα που θέλουμε να ζεστάνουμε σε επαφή με ένα άλλο σώμα που είναι πιο ζεστό. Τότε το σώμα ζεσταίνεται παίρνοντας θερμότητα από το πιο ζεστό. Ο τρόπος αυτός λέγεται:

### 1. Διάδοση θερμότητας με αγωγή

Όταν δύο σώματα έρχονται σ' επαφή τότε το πιο ζεστό σώμα κρύνει και το πιο κρύο ζεσταίνεται. Τότε λέμε ότι υπάρχει ροή θερμότητας από το ζεστό στο κρύο.

#### Ερωτήσεις:

1. Γιατί τα χερούλια από τα μαγειρικά σκεύη έχουν επένδυση από ξύλο ή κάποιο κατάλληλου τύπου πλαστικό;
2. Γιατί τα δοχεία με νερό που παίρνουμε μαζί μας όταν πηγαίνουμε στην εξοχή έχουν επένδυση από φελιζόλ;
3. Γιατί όταν περπατάμε ξυπόλυτοι στο πάτωμα κρύνουμε περισσότερο από ότι όταν περπατάμε στη μοκέτα ή στο χαλί;
4. Γιατί οι μπαλκονόπορτες και τα παράθυρα έχουν συνήθως διπλά ή και τριπλά τζάμια με αέρα ή ειδικό αέριο (αργό) ανάμεσά τους;
5. Γιατί ένα πάπλωμα γεμάτο με πούπουλα είναι πολύ αποτελεσματικό στο να μας κρατάει ζεστούς το χειμώνα;
6. Γιατί η θερμοκρασία στο εσωτερικό των ιγκλού είναι δεκάδες βαθμούς υψηλότερη από το περιβάλλον ακόμα και χωρίς πηγή θερμότητας στο εσωτερικό τους, παρά μόνο με την ύπαρξη των ανθρώπων που κατοικούν σ' αυτό;
7. Γιατί οι εξωτερικοί τοίχοι των σπιτιών είναι διπλοί και το κενό ανάμεσα στην εξωτερική και την εσωτερική συστοιχία τούβλων είναι γεμισμένο με χοντρά φύλλα από φελιζόλ;

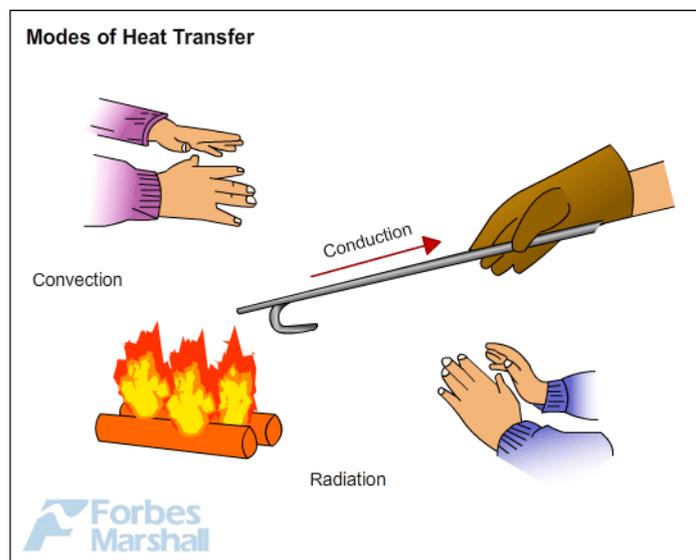
Ο δεύτερος τρόπος είναι η μεταφορά ενός πιο ζεστού σώματος σε περιοχές που είναι πιο κρύο. Ο τρόπος αυτός λέγεται:

### 2. Διάδοση θερμότητας με ρεύματα μεταφοράς

Σ' αυτή την περίπτωση για να ζεστάνουμε το σώμα δεν είναι ανάγκη να το φέρουμε σ' επαφή με ένα πιο ζεστό. Αρκεί να μεσολαβήσει ανάμεσα στο ζεστό και στο κρύο ένα μέσο που αφήνει τη θερμότητα να περνάει από μέσα του. Πχ ένα μέταλλο. Έτσι ζεσταίνεται το νερό που βρίσκεται σε μία κατσαρόλα τοποθετημένη πάνω σε ένα μάτι.

## Η Ενέργεια

Εδώ είναι αξιόλογο να παρατηρήσουμε ότι συνήθως όποια σώματα είναι αγωγοί της θερμότητας είναι και αγωγοί του ηλεκτρισμού. Ισχύει και το αντίστροφο. Δηλαδή τα σώματα που είναι θερμικοί μονωτές είναι συνήθως και μονωτές στον ηλεκτρισμό. Όπως πχ το ξύλο, το πλαστικό, το γυαλί το κεραμικό κλπ. Από τέτοια υλικά είναι κατασκευασμένα τα χερούλια των μαγειρικών συσκευών ώστε να μπορούμε να τα πιάνουμε χωρίς να καιγόμαστε.



### **Υπάρχουν άραγε και άλλοι τρόποι για να ζεστάνεις ένα σώμα;**

Η απάντηση είναι ναι. Μπορούμε να ζεστάνουμε με πολλούς τρόπους ένα σώμα.

#### **Ζέσταμα ενός σώματος χωρίς την παροχή θερμότητας**

Μέχρι τώρα είδαμε ότι υπάρχει περίπτωση να δίνουμε θερμότητα σε ένα σώμα και αυτό να μην ζεσταίνεται. Να διατηρεί τη θερμοκρασία του σταθερή. Αυτό συμβαίνει στην τήξη, όταν δηλαδή ένα σώμα μετατρέπεται από στερεό σε υγρό αλλά και στον βρασμό που το σώμα μετατρέπεται από υγρό σε αέριο.

Τώρα θα διαπιστώσουμε ότι μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο. Δηλαδή να ζεστάνουμε ένα σώμα χωρίς να του δώσουμε θερμότητα.

### **3. Θέρμανση μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας**

Αυτό συμβαίνει όταν ζεσταίνουμε ένα φαγητό στο φούρνο μικροκυμάτων.

Ας εξηγήσουμε λίγο λεπτομερέστερα πως συμβαίνει αυτό.

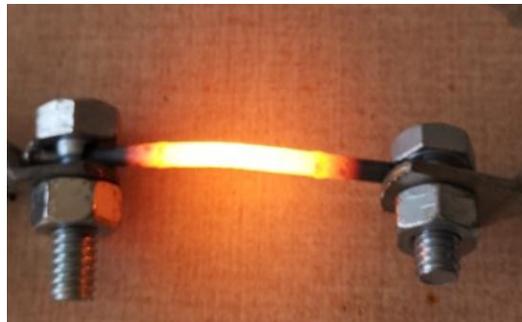
Ο ήλιος ξέρουμε ότι εκπέμπει φως. Ίσως όμως να μην είναι γνωστό ότι εκπέμπει και άλλα κύματα που δεν μπορεί να δει το μάτι μας. Κύματα όπως αυτά που εκπέπονται από το TV control ή από το κινητό μας, το router κλπ. Κάποια από αυτά τα αόρατα κύματα είναι υπεύθυνα για το μαύρισμα που παθαίνουμε όταν καθόμαστε στον ήλιο. Τα κύματα αυτά λέγονται υπεριώδεις ακτινοβολίες. Κάποια άλλα ευθύνονται για το ζέσταμα που αισθόμαστε όταν καθόμαστε στον ήλιο. Αυτά τα κύματα λέγονται υπέρυθρες ακτινοβολίες. Έτσι λοιπόν ο ήλιος αλλά και ο φούρνος μικροκυμάτων ή οποιοδήποτε ζεστό σώμα όπως το σώμα μας, θερμώνει το γύρω χώρο γιατί εκπέμπει υπέρυθρα κύματα.



Αυτά τα κύματα ανιχνεύει ένα θερμομέτρο υπερύθρων και μετράει από απόσταση τη θερμοκρασία του σώματός μας.

### 4. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια του ηλεκτρισμού

Στην αρχαιότητα για να κάνουν οι άνθρωποι ένα ζεστό μπάνιο, μάζευαν ξύλα, τα έβαζαν φωτιά, ζέσταιναν νερό σε ένα μεγάλο μεταλλικό καζάνι και μεταφέρονε το νερό στο μπάνιο τους. Σήμερα για να κάνει κάποιος ένα ζεστό μπάνιο απλά πατάει το κουμπί για να ανάψει το θερμοσίφωνα. Καίγονται ξύλα; Η απάντηση είναι ναι. Μόνο που τα καίμε (όχι πλέον ξύλα αφού δεν υπάρχουν πολλά δάση, αλλά κάρβουνο ή φυσικό αέριο στα εργοστάσια **ηλεκτροπαραγωγής** και ζεσταίνεται το νερό του θερμοσίφωνα. Όταν καίγεται το κάρβουνο ή το φυσικό αέριο στη εργοστάσιο, μέρος της θερμότητας που δημιουργείται από την καύση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία με καλώδια φθάνει στο θερμοσίφωνα του σπιτιού μας και εκεί μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια σε ένα κομμάτι σύρμα μέσα στον θερμοσίφωνα. Μέσω τώρα της θερμότητας, αυτό το σύρμα (αντίσταση) ζεσταίνει το νερό. Άρα ένα σώμα μπορεί να ζεσταθεί, δηλαδή να αυξήσει τη θερμική του ενέργεια, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.



### 5. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια της τριβής

Πολλές φορές το χειμώνα όταν κρυώνουν τα χέρια μας για να τα ζεσάνουμε τα τρίβουμε μεταξύ τους. Τα πολύ παλιά χρόνια οι άνθρωποι για να ανάψουν φωτιά τρίβανε πολύ δυνατά μεταξύ τους και για αρκετή ώρα δύο ξύλα. Όταν φουσκώνουμε το λάστιχο του ποδηλάτου μας η βαλβίδα ζεσταίνεται. Άρα ένα σώμα μπορεί να ζεσταθεί όταν υπάρχει κίνηση και ταυτόχρονα και κάποια δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση αυτή.



Πολλές φορές το ζέσταμα αυτό που προκαλείται από την τριβή θέλουμε να το αποφύγουμε. Έτσι για παράδειγμα σε όλες τις μηχανές χρησιμοποιούμε λάδια. Με το λάδι ελαττώνονται οι τριβές και έτσι οι μηχανές δεν ζεσταίνονται πολύ. Εκτός από το λάδι το ζεστό μέρος της μηχανής το κρυώνουμε φέρνοντάς το σε επαφή με νερό (υδροψυκτική μηχανή) ή αέρα (αερόψυκτη) έτσι μέσω της αγωγής θερμότητας κρατάμε τη θερμοκρασία της μηχανής σταθερή.

### 6. Ζέσταμα ενός σώματος με τη βοήθεια της χημείας

Σε κάποιες χημικές αντιδράσεις τα προϊόντα της αντίδρασης είναι πιο ζεστά από τα αντιδρώντα σώματα. Οι αντιδράσεις αυτές λέγονται εξώθερμες. Όταν καίγονται τα ξύλα στο τζάκι η χημική αντίδραση της καύσης είναι έντονα εξώθερμη και έτσι ζεσταίνεται ο γύρω χώρος με τη μεταφορά της θερμότητας μέσω του αέρα.

Ακόμη και όταν διαλύουμε κάποιες ουσίες στο



νερό, μπορεί η διάλυση να προκαλέσει τη θέρμανση του νερού. Έτσι όταν πχ ρίχνουμε λίγο τουμποφλω στη λεκάνη, το νερό ζεσταίνεται πάρα πολύ μέχρι και που βράζει. Υπάρχουν στο εμπόριο φακελάκια που περιέχουν ορισμένα άλατα που όταν σπάσουμε ένα διαχωριστικό και τα διαλύσουμε σε νερό ζεσταίνονται, οπότε τα χρησιμοποιούμε ως θερμοφόρες, ή και κρυώνουν, οπότε τα χρησιμοποιούμε ως παγοκύστες

## Πως μπορούμε άραγε να κρυώσουμε ένα σώμα;

Μέχρι τώρα μιλήσαμε για το πώς μπορούμε να ζεσάνουμε ένα σώμα. Πως όμως μπορούμε να ψύξουμε ένα σώμα; Και εδώ η απάντηση είναι ότι οι τρόποι είναι πολλοί. Ο πιο κοινός τρόπος είναι να του αφαιρέσουμε θερμότητα φέρνοντάς στο σε επαφή με ένα πιο κρύο σώμα. Έτσι πχ κρυώνουμε τον καφέ μας προσθέτοντας σε αυτόν παγάκια. Έτσι κρυώνουν και τα πράγματα που βάζουμε στο ψυγείο.

Ένας άλλος τρόπος πολύ πρακτικός είναι με τη βοήθεια της εξάτμισης. Εξάτμιση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα υγρό μετατρέπεται σε αέριο χωρίς όμως να βράζει. Με την εξάτμιση τα μόρια που φεύγουν από την υγρή φάση στην αέρια είναι τα πιο γρήγορα. Έτσι στην υγρή φάση μένουν τα πιο αργά μόρια. Έτσι με την εξάτμιση το υγρό ψύχεται. Όσο πιο εύκολα εξατμίζεται ένα υγρό, τόσο περισσότερο ψύχεται όταν εξατμίζεται. Τα υγρά που εξατμίζονται εύκολα, όπως πχ το οινόπνευμα η βενζίνη κλπ λέγονται πτητικά.

Γι αυτό ιδρώνουμε. Η εφύδρωση είναι ένας μηχανισμός του σώματός μας για να κατεβάσει τη θερμοκρασία του. Νερό βγαίνει από πόρους του δέρματός μας, οπότε όταν αυτό εξατμίζεται κατεβαίνει η θερμοκρασία της επιφάνειας της επιδερμίδας, άρα και του σωματός μας.

Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δροσιζόμαστε όταν λειτουργεί ο ανεμιστήρας. Ο ανεμιστήρας δημιουργεί ένα ρεύμα αέρα το οποίο προκαλεί μεγαλύτερη εξάτμιση του υδρώτα μας. Το περίεργο με τον ανεμιστήρα είναι ότι η λειτουργία του αυξάνει κατά λίγο τη θερμοκρασία του δωματίου μας.

Έτσι λειτουργεί και το ψυγείο. Σε αυτό υπάρχει ένα πολύ πτητικό αέριο το οποίο εξατμίζεται και κατεβάζει τη θερμοκρασία στο χώρο του ψυγείου. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα, μεταφέρεται έξω από το χώρο του ψυγείου, συμπιέζεται και γίνεται πάλι υγρό και μεταφέρεται ξανά στο εσωτερικό του ψυγείου όπου εξατμίζεται. Η ίδια ακριβώς λειτουργία γίνεται και στο air condition

## Συγγένεια της θερμότητας με το έργο - εσωτερική ενέργεια

### Μία 4<sup>η</sup> αρχή διατήρησης

Όταν ένα σώμα πέσει σ' ένα αμμώδες έδαφος τότε ακινητοποιείται χωρίς ν' αναπηδήσει. Η μηχανική του ενέργεια χάθηκε. Τι μπορούμε να πούμε από θέμα φυσικής του φαινομένου; Σ' αυτή την περίπτωση ανοίγονται δύο ενδεχόμενα.

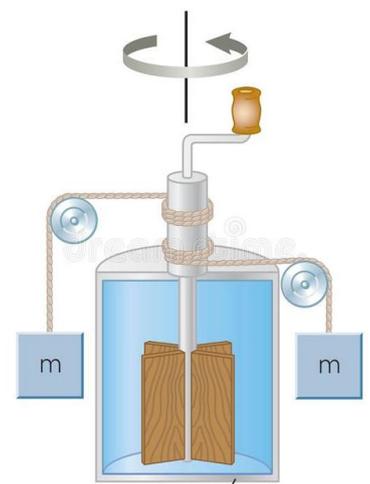
1. Ή ότι η αρχή διατήρησης της ενέργειας δεν ισχύει πάντα. Αν έχουμε μόνιμες παραμορφώσεις όπως στην προκειμένη περίπτωση της άμμου, τότε η ενέργεια παύει να διατηρείται. Χάνεται.
2. Ή ότι η αρχή διατήρησης της ενέργειας ισχύει πάντα. Απλά όταν π.χ ένα σώμα πέσει στην άμμο η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε κάποια άλλη άγνωστης μορφής ενέργεια, ως την πούμε εσωτερική ενέργεια του σώματος. Άρα η εσωτερική ενέργεια μετά την πτώση πρέπει ν' αυξηθήκε.

Αν επιλέξουμε το δεύτερο ενδεχόμενο παραμένοντας πιστοί στην ΑΔΕ θα πρέπει να εισάγουμε έναν ακόμη όρο. Τον όρο της εσωτερικής ενέργειας. Τότε η αρχή διατήρησης της ενέργειας θα πάρει τη μορφή:

$$\underbrace{K+U}_{E_{\text{μηχανική}}} + E_{\text{εσωτ}} = \text{σταθ}$$

Κατά τη διάρκεια της πτώσης η εσωτερική ενέργεια παρέμενε σταθερή. Έτσι είχαμε τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική. Όταν το σώμα έπεσε στην άμμο όλη η κινητική ενέργεια έγινε εσωτερική. Έτσι με την εισαγωγή του όρου της εσωτερικής ενέργειας ισχύει και πάλι η ΑΔΕ. Μια επιστημονική υπόθεση όμως για να γίνει αποδεκτή και από υπόθεση να μετατραπεί σε επιστημονική θεωρία, θα πρέπει να είναι και πειραματικά επαληθεύσιμη. Λέγοντας λοιπόν ότι η εσωτερική ενέργεια του σώματος αυξήθηκε, θα πρέπει να βρούμε ένα φυσικό μέγεθος που να μπορούμε να το μετρήσουμε και μετά την πτώση να το βρίσκουμε μεγαλύτερο. Αυτό το φυσικό μέγεθος στη συνέχεια να το συσχετίσουμε με την εσωτερική ενέργεια. Το μόνο φυσικό μέγεθος που πιθανά να άλλαξε στο σώμα μετά την πτώση του στην άμμο, είναι η θερμοκρασία του. Άρα θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τυχόν αλλαγή της θερμοκρασίας του σώματος μετά την πτώση. Αν βρούμε κάποια αλλαγή στη θερμοκρασία, τότε μπορούμε να συσχετίσουμε τη θερμοκρασία με την εσωτερική ενέργεια και να επεκτείνουμε την Α.Δ.Ε ώστε να ισχύει ακόμη και στην περίπτωση που έχουμε απώλεια μηχανικής ενέργειας. Την υπόθεση περί εσωτερικής ενέργειας και τα πρώτα σχετικά πειράματα τα έκανε ο Joule.

Ο Joule στη προσπάθειά του να προσδιορίσει μία αλλαγή της θερμοκρασίας ενός σώματος όταν αυτό χάνει τη μηχανική του ενέργεια, μέτρησε τη θερμοκρασία στην κορυφή και στη βάση ενός καταρράκτη, ελπίζοντας ότι στη βάση θα βρει μία μεγαλύτερη θερμοκρασία. Και αυτό γιατί με την πτώση του νερού σε έναν καταρράκτη έχουμε μεγάλη απώλεια μηχανικής ενέργειας, άρα πιθανά να έχουμε και μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας στη βάση του. Μολονότι πράγματι υπάρχει μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 0,1 βαθμών Κελσίου, ο Τζάουλ δεν μπόρεσε να την προσδιορίσει πειραματικά με τα μέσα που διέθετε εκείνη την εποχή. Επειδή όμως πίστευε στην υπόθεσή του σχετικά με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, προσπάθησε με πειράματα στο εργαστήριο να προσδιορίσει μία αύξηση της θερμοκρασίας σε ένα σύστημα όταν σε αυτό χάνεται η μηχανική ενέργεια. Να βρει δηλαδή σχέση μεταξύ έργου και θερμότητας. Και τα κατάφερε. Είναι από τις περιπτώσεις που η θεωρία προηγείται του πειράματος. Το πείραμα είναι ιστορικό και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι  $1\text{Joule}=0,24\text{cal}$ .



## Η Ενέργεια

Το 1J είναι το έργο που παράγει μία δύναμη 1N όταν μετακινεί το σημείο εφαρμογής της κατά 1m. Το 1Cal είναι η θερμότητα που πρέπει να προσφερθεί σε 1g νερού ώστε ν' αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό.

Το πείραμα περιγράφεται από την εικόνα. Τα βάρη πέφτουν με σταθερή ταχύτητα προκαλώντας τη περιστροφή της φτερωτής. Η περιστροφή της φτερωτής αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού. Μετρώντας την απώλεια της δυναμικής ενέργειας και την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μπορούμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ έργου και θερμότητας

Όπως αναφέραμε προηγουμένως τόσο το έργο όσο και η θερμότητα εκφράζουν δύο διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς ή μετατροπής ενέργειας. Με άλλα λόγια αυτά τα δύο μεγέθη δεν εκφράζουν ποσότητα ενέργειας που έχει κάποιο σώμα, αλλά ποσότητα ενέργειας που μεταβιβάστηκε σε κάποιο σώμα. Έτσι είναι λάθος οι εκφράσεις « το έργο της τριβής μετατράπηκε σε θερμότητα» ή «η χημική ενέργεια έγινε θερμότητα» κτλ. Δηλαδή το ρήμα «έχω» δεν πρέπει να μπαίνει ποτέ μπροστά από τις λέξεις έργο ή θερμότητα. Μπροστά από τα μεγέθη «έργο» και «θερμότητα» πρέπει να μπαίνουν τα ρήματα «παίρνω, δίνω, παράγω, καταναλώνω κτλ»

Η θερμότητα πολλές φορές συγχέεται με τη θερμική ενέργεια. Ας αναφέρουμε όμως λίγο πιο αναλυτικά τι είναι η θερμική ενέργεια ώστε να αρθεί η σύγχυση. Ως γνωστό εσωτερική ενέργεια ονομάζουμε το σύνολο όλων των κινητικών και δυναμικών ενεργειών των δομικών λίθων που αποτελούν ένα σώμα. Η δομή όμως ενός σώματος είναι αρκετά πολύπλοκη. Έτσι η εσωτερική ενέργεια αρχίζοντας από τους πυρήνες προς τα μόρια, θα αποτελείται από πολλούς όρους. Ανάλογα τώρα από το ποιοί όροι αλλάζουν σε κάποιο φαινόμενο, έχουμε και διάφορες κατηγορίες φαινομένων. Αυτά τα συνοψίζουμε στον παρακάτω πίνακα.

ΟΡΟΣ	ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ
Κινητική και δυναμική ενέργεια των νουκλεονίων του πυρήνα	Πυρηνικές αντιδράσεις. Πηγή της ηλιακής ενέργειας
Κινητική και δυναμική ενέργεια των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας	Χημικές αντιδράσεις. Ενέργεια καυσίμων-θερμικές μηχανές-φαινόμενο ζωής
Δυναμική ενέργεια των μορίων	Φαινόμενα αλλαγής φάσης, βρασμός, τήξη, εξάτμιση
Κινητική ενέργεια των μορίων	Θερμικά φαινόμενα, Θερμική ενέργεια

Παρατηρούμε λοιπόν ότι όταν ζεσταίνεται ένα σώμα, αυξάνεται η εσωτερική του ενέργεια και μάλιστα πιο συγκεκριμένα αυξάνεται η θερμική του ενέργεια. Όταν για παράδειγμα στο νερό φθάσουμε στους 100°C τότε η προσφορά θερμότητας στο σώμα επιφέρει αλλαγή στην δυναμική και όχι στην κινητική ενέργεια των μορίων του νερού, και γι' αυτό αυτή η προσφορά θερμότητας δεν συνοδεύεται και από αντίστοιχη αύξηση θερμοκρασίας. Με τις παραπάνω επισημάνσεις είναι πλέον κατανοητό το εκφραστικό λάθος που κάνουν πολλά σχολικά και μη βιβλία φυσικής, λέγοντας ότι το έργο της τριβής μετατρέπεται σε θερμότητα. Η σωστή έκφραση είναι ότι μέσω του έργου της τριβής αυξάνεται η θερμική ενέργεια του σώματος άρα και η θερμοκρασία του. Στη συνέχεια το σώμα μέσω της θερμότητας (αν δεν είναι θερμικά μονωμένο) αποδίδει ενέργεια στο περιβάλλον μέχρι να αποκτήσει ίδια θερμοκρασία με αυτό. Τελικά το έργο της τριβής εκφράζει το ποσό της ενέργειας που μετατράπηκε σε θερμική ενέργεια του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η εσωτερική ενέργεια που και αυτή δεν είναι τίποτα άλλο παρά άθροισμα δυναμικών και κινητικών ενεργειών, αναφέρεται στο μικρόκοσμο. Με την εισαγωγή του όρου της θερμικής ενέργειας και την εύρεση της σχέσης μεταξύ έργου και θερμότητας, η τέταρτη αρχή διατήρησης μπορεί να πάρει τη μαθηματική μορφή:

$$\Delta U = Q - W$$

Η σχέση αυτή λέγεται πρώτος θερμοδυναμικός νόμος και μας λέει απλά ότι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας μπορεί να γίνει είτε με τη διαδικασία του έργου είτε με τη διαδικασία της θερμότητας. Για να αναφέρουμε ένα απλό παράδειγμα: Το χειμώνα για να ζεστανούμε τα χέρια μας, τα πλησιάζουμε στο τζάκι ώστε να πάρουν θερμότητα και να ζεσταθούν και συγχρόνως τα τρίβουμε ώστε μέσω του έργου της τριβής ν' ανέβει η θερμοκρασία τους.

## Ο 2<sup>ος</sup> θερμοδυναμικός νόμος

### Η ιστορικότητα νικάει την ετυμολογία

Πριν τη ανακάλυψη της συγγένειας της θερμότητας με το έργο από τον Joule, δηλαδή πριν από την ανακάλυψη της 4<sup>ης</sup> αρχής διατήρησης, δηλαδή του 1<sup>ου</sup> θερμοδυναμικού νόμου, όταν λέγαμε ενέργεια αναφερόμασταν μόνο στην κινητική και τη δυναμική ενέργεια των σωμάτων. Έτσι ως ορισμό για την ενέργεια είχαμε τον εξής:

**Ενέργεια ονομάζουμε τη δυνατότητα που έχουν κάποια σώματα είτε λόγω της κινητικής τους κατάστασης είτε λόγω της ειδικής θέσης ή κατάστασής τους να παράγουν έργο.**

Ο ορισμός αυτός συνάδει και με την ετυμολογία της λέξης ενέργεια που προέρχεται από την ένωση των λέξεων **εντός+έργο**. Με την διατύπωση όμως του 1<sup>ου</sup> θερμοδυναμικού νόμου, ο ορισμός αυτός παύει να ισχύει αφού η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε εσωτερική ενέργεια, η οποία όμως δεν μπορεί να μετατραπεί σε έργο ειδικά όταν δεν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας έτσι ώστε να έχουμε ροή θερμότητας. Σ' αυτή την περίπτωση, μολονότι δεν χάνεται η ενέργεια χάνεται η δυνατότητα παραγωγής έργου.

**Το χάσιμο αυτό της ικανότητας παραγωγής έργου μέσω των ενεργειακών μετατροπών γίνεται διαρκώς και αυθόρμητα στη φύση και αποτελεί ένα αξίωμα της φυσικής. Το αξίωμα αυτό ονομάζεται 2<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα**

Το 2<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα αποτελεί τον πυρήνα του ενεργειακού προβλήματος. Γιατί σύμφωνα με το 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα η ενέργεια ποτέ δεν χάνεται. Έρχεται όμως το 2<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα και συμπληρώνει. Ναι μεν δεν χάνεται αλλά διαρκώς υποβαθμίζεται. Δηλαδή χάνει διαρκώς την ικανότητά της να παράγει έργο. Όταν λέμε ότι η υποβάθμιση της ενέργειας αποτελεί αξίωμα για τη φυσική, εννοούμε ότι η πρόταση αυτή είναι απόρροια πολλών πειραματικών δεδομένων. Δεν προκύπτει από την μαθηματική επεξεργασία κάποιων άλλων πιο βασικών αρχών της φυσικής.

Για να γίνει ποιο κατανοητό το 2<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα θ' αναφέρουμε ένα παράδειγμα. Αν γεμίσουμε το ρεζερβουάρ του αυτοκινήτου μας με βενζίνη, τότε έχουμε δώσει στο αυτοκίνητο κάποια χημική ενέργεια. Όταν καίγεται το καύσιμο στη μηχανή του αυτοκινήτου, αναπτύσσεται μία μεγαλύτερη θερμοκρασία από το περιβάλλον και έτσι έχουμε μία ροή θερμότητας από το χώρο καύσης στο περιβάλλον. Η μηχανή μετατρέπει ένα μέρος της θερμότητας αυτής σε έργο και έτσι το αυτοκίνητο κινείται. Όταν τελικά καεί όλο το καύσιμο, η χημική του ενέργεια δεν χάθηκε. Απλά μετατράπηκε σε θερμική ενέργεια του περιβάλλοντος. Δηλαδή το περιβάλλον ζεστάθηκε κατά πολύ λίγο όμως λόγω της πολύ μεγάλης μάζας του περιβάλλοντος όπως προκύπτει από τη σχέση

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \rightarrow \Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c}$$

Τώρα όμως η ενέργεια αυτή είναι πλέον «άχρηστη». Δεν μπορεί να μετατραπεί σε άλλη μορφή ώστε να μας δώσει θερμότητα ή έργο. Με άλλα λόγια δεν είναι πλέον «ενέργεια» με τον αρχικό ορισμό της ενέργειας ως τη δυνατότητα παραγωγής έργου. Γιατί όμως διατηρούμε μία λέξη όπως αυτή της ενέργειας, η οποία δεν ανταποκρίνεται πλέον ετυμολογικά στην έννοια της ενέργειας; Αυτό το κάνουμε για ιστορικούς λόγους. Διατηρούμε τη λέξη μολονότι το νόημά της έχει αλλάξει ριζικά και δεν ανταποκρίνεται πλέον ετυμολογικά στο νέο της εννοιολογικό της περιεχόμενο. Αυτό δεν έχει συμβεί μόνο με τη λέξη «ενέργεια». Έχει συμβεί και με άλλες λέξεις όπως π.χ. τη λέξη «άτομο». Η λέξη «άτομο» ετυμολογικά σημαίνει κάτι το οποίο δεν μπορεί να τμηθεί δηλαδή να σπάσει σε κάτι απλούστερο. Σήμερα με τη λέξη άτομο εννοούμε ένα σύστημα που αποτελείται από έναν πυρήνα και τα ηλεκτρόνια γύρω από αυτόν. Στο σύστημα αυτό μπορούμε να προσθέσουμε ή ν' αφαιρέσουμε ηλεκτρόνια, αλλά μπορούμε να διασπάσουμε ακόμη και τον πυρήνα. Άρα μόνο «άτομο» δεν είναι πλέον. Για ιστορικούς όμως λόγους διατηρούμε και σ' αυτή την περίπτωση την αντίστοιχη λέξη «άτομο»

## Η ηλεκτρική ενέργεια

### Μια ενέργεια που κινεί όλο το πλανήτη

Ας πάμε ένα ταξίδι στο παρελθόν στην αρχαία Αθήνα στην εποχή του Περικλέους. Αν εκείνη την εποχή ένας πολίτης αποφάσιζε να κάνει ένα ζεστό μπάνιο, θα έπρεπε κάποιος δούλος να πάει στον Υμηττό να κόψει ξύλα, να τα μεταφέρει στο σπίτι, κάποιος άλλος να πάει στον Ιλισό και να μεταφέρει νερό, να ανάψουνε τη φωτιά, να ζεσταθεί το νερό κτλ. Καταλαβαίνετε πόσο έργο απαιτούνταν και γιατί ο αριθμός των δούλων στην αρχαία Αθήνα ήταν πολλαπλάσιος από τον αριθμό των πολιτών. Αν μεταφερθούμε στο σήμερα, μπορούμε να χαρούμε ένα ζεστό μπάνιο με το γύρισμα απλώς ενός κουμπιού. Πως έγινε δυνατό ένα τέτοιο θαύμα;. Πως κατάφερε ο άνθρωπος να καίει το κάρβουνο στην Πτολεμαΐδα ( δυστυχώς στον Υμηττό δεν υπάρχουν πλέον δέντρα ούτε για δείγμα) και να ζεσταίνεται το νερό στην Αθήνα; Αυτό το θαύμα το πέτυχε γιατί από τις τέσσερις δυνάμεις της φύσης (βαρυτική, ηλεκτρομαγνητική, ισχυρών και ασθενών αλληλεπιδράσεων) πιο καλά από όλες γνωρίζει τις ηλεκτρομαγνητικές. Εξ' άλλου όλα τα τεχνολογικά επιτεύγματα για τα οποία μπορεί να καυχηθεί σήμερα η ανθρωπότητα όπως (Η/Υ, τηλεοράσεις, κινητή τηλεφωνία κτλ) είναι εφαρμογές του ηλεκτρομαγνητισμού.

Η επίτευξη του παραπάνω θαύματος έγινε με τη λύση τριών βασικών προβλημάτων. Τα προβλήματα αυτά ήταν.

1. Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική με μικρές απώλειες
2. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με μικρές απώλειες.
3. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική ή θερμική.

Τα ανωτέρω προβλήματα λύθηκαν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα από τις εργασίες πολλών επιφανών επιστημών. Πρέπει όμως να ξεχωρίσουμε τη προσφορά του Φαραντέϊ στο πρώτο πρόβλημα, του Τέσλα στο δεύτερο καθώς και των Τζάουλ, Ωμ, Λαπλάς στο δεύτερο και τρίτο πρόβλημα. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας επιβλήθηκε σε σχέση με όλα τα άλλα είδη ενέργειας, γιατί βασικά παράγεται και μεταφέρεται αρκετά εύκολα. Αν είχαμε λύσει και το πρόβλημα της αποθήκευσης τότε θα χρησιμοποιούταν σχεδόν αποκλειστικά στη κίνηση των οχημάτων με αποτέλεσμα να είχαμε πολύ λιγότερη μόλυνση της ατμόσφαιρας και θόρυβο.

Σήμερα ο πλανήτης κατακλύζεται στη κυριολεξία από εκατομμύρια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, είτε ασύρματα είτε ενσύρματα. Τα σύρματα τα χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να μεταβιβάσουμε μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ενώ οι ασύρματες ζεύξεις χρησιμοποιούνται για τη μεταβίβαση πληροφοριών ( μικρά ποσά ενέργειας). Ολόκληρος ο πλανήτης γη μοιάζει με έναν οργανισμό που τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα μιτοχόνδρια του οργανισμού και τα καλώδια μεταφοράς της ενέργειας είναι οι αρτηρίες του.

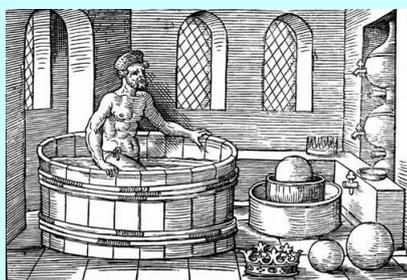
Είναι πολύ συνηθισμένο εκπαιδευτικά, αν κάποιο φαινόμενο είναι πολύπλοκο και δύσκολα κατανοητό, να το παρομοιάζουμε με κάποιο άλλο πολύ πιο οικείο και αρκετά πιο απλό. Όλοι σίγουρα θα έχουμε ακούσει από τους δασκάλους μας την παρομοίωση του ηλεκτρικού ρεύματος που περνάει από ένα καλώδιο με την παροχή νερού μέσα από κάποια σωλήνα. Αυτό όμως μπορεί να φέρει μεγάλη σύγχυση αν εκτός από τις ομοιότητες δεν τονίσουμε και τις μεγάλες διαφορές. Έτσι είναι δύσκολο να κατανοήσει ο μαθητής, έχοντας την εικόνα του νερού που ρέει μέσα από έναν σωλήνα, πως είναι δυνατό η ηλεκτρική ενέργεια να τρέχει χιλιάδες φορές γρηγορότερα από τα ηλεκτρόνια. Τα πράγματα γίνονται ακόμη χειρότερα στη περίπτωση του εναλλασσόμενου ρεύματος, που εκεί ενώ δεν υπάρχει ροή ηλεκτρονίων ( τα ηλεκτρόνια δεν μετακινούνται από τη θέση τους ) υπάρχει ροή ενέργειας. Δυστυχώς η κατανόηση του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να γίνει με ακρίβεια μόνο μέσα από τη κατανόηση της έννοιας του κύματος, αφού τελικά η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τη διαδικασία του κύματος.

Το φαινόμενο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από ένα καλώδιο, μοιάζει αρκετά με το φαινόμενο μεταφοράς της φωνής μας μέσα από έναν σωλήνα. Όπως και στον ηλεκτρισμό έτσι και στον ήχο, δεν έχουμε ουσιαστικά μεταφορά ύλης, αλλά μεταφορά ενέργειας. Άρα δεν είναι απαραίτητο να μεταφέρουμε τα ξύλα ή τα κάρβουνα για να ζεσάνουμε το νερό της μπανιέρας μας. Μεταφέρουμε απλώς την «ενέργεια» που περιέχουν. Στον ηλεκτρισμό σε σχέση με τη μεταφορά ήχου έχουμε δύο μεγάλες διαφορές. Πρώτον ενώ η ταχύτητα μεταφοράς του ήχου στον αέρα είναι περίπου 340m/s η ταχύτητα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 300.000Km/s. Δεύτερον, οι απώλειες στην περίπτωση μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μικρότερες. Να γιατί η πιο εύκολα μεταφερόμενη ενέργεια είναι η ηλεκτρική. Μεταφέρεται πολύ γρήγορα με μικρές απώλειες.

## Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από μία παρομοίωση

Η ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΑ ΕΙΝΑΙ Η ΜΙΣΗ ΑΡΧΟΝΤΙΑ.

Την απόλαυση να κάνεις ότι ώρα επιθυμείς ένα ζεστό μπάνιο, μπορείς να την αξιολογήσεις σωστά, μόνο όταν τη στερηθείς για κάποιο διάστημα.



Τα ηλεκτρόνια μας χαρίζουν στιγμές ευτυχίας και απόλαυσης.



Ας γυρίσουμε πάλι στην εποχή του Περικλέους και ας φανταστούμε έναν έξυπνο επιχειρηματία ο οποίος έφτιαξε ένα εργοστάσιο ξύλων. Είχε στην δούλεψή του αρκετούς σκλάβους, εργάτες τους λέμε σήμερα, τους οποίους έστελνε στα γύρω δάση και του μάζευαν ξύλα. Τα έφερναν στο εργοστάσιο, όπου κοβόντουσαν σε μικρότερα κομμάτια και αποθηκευόντουσαν. Το εργοστάσιο διέθετε και κάμποσα μουλάρια τα οποία μετέφεραν τα ξύλα στην γειτονική πόλη. Τα μουλάρια έφευγαν το πρωί από το εργοστάσιο και επέστρεφαν το βράδυ. Πως θα μπορούσαμε να μετρήσουμε την παραγωγή ενός τέτοιου εργοστασίου για κάποια ημέρα;

Για να γίνει η μέτρηση μια υπόθεση ρουτίνας, ο λογιστής του επιχειρηματία όρισε δύο μεγέθη. Το πρώτο που το κάλεσε ένταση μουλαριών το όρισε σαν τον αριθμό των μουλαριών που φεύγουν από το εργοστάσιο κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας. Το δεύτερο μέγεθος που το κάλεσε δυναμικό μουλαριού το όρισε σαν την ποσότητα των ξύλων που είναι φορτωμένο το κάθε μουλάρι.

Ας υποθέσουμε ότι κάποια μέρα δεν πουλήθηκαν όλα τα ξύλα. Οι εργάτες στην επιστροφή μοίρασαν ομοιόμορφα τα απούλητα ξύλα σε όλα τα μουλάρια. Έτσι για να βρούμε πόσα ξύλα πουλήθηκαν από το κάθε μουλάρι, θα πρέπει να αφαιρέσουμε από τα ξύλα που είχε όταν έφυγε το πρωί, τα ξύλα που έχει όταν επιστρέφει στο εργοστάσιο. Το μέγεθος αυτό θα ονομάζεται προφανώς διαφορά δυναμικού.

Για να βρούμε την παραγωγή του εργοστασίου εκείνη την ημέρα αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τα δύο μεγέθη. Με άλλα λόγια τα συνολικά ξύλα που πουλήθηκαν εκείνη την ημέρα θα είναι :

Αριθμός μουλαριών/ημέρα \* ( ξύλα το πρωί/μουλάρι - ξύλα βράδυ / μουλάρι) = ένταση \* διαφορά δυναμικού

Σήμερα το εργοστάσιο αυτό έχει αντικατασταθεί από ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξέλιξη των γνώσεών μας πάνω στα φυσικά φαινόμενα μας επέτρεψε να καίμε τα ξύλα στο εργοστάσιο και να ζεσταίνεται το νερό στην πόλη. Δεν χρειάζεται πλέον να μεταφέρουμε τα ξύλα στην πόλη. Αρκεί να μεταφέρουμε την ενέργεια που περιέχουν τα ξύλα σπίτι μας, και στη συνέχεια με την ενέργεια αυτή να ζεσταίνουμε το νερό. Για την μεταφορά της ενέργειας δεν χρειάζονται πια μουλάρια. Τον ρόλο αυτό τον αναλαμβάνουν τα ηλεκτρόνια, πάρα πολύ μικρά σωματίδια τα οποία κινούνται μέσα σε μεταλλικούς αγωγούς. Τα ηλεκτρόνια υπάρχουν σε κάθε μεταλλικό αγωγό. Άρα αυτό που απαιτείται είναι ένα διπλό σύρμα ( ώστε να μπορούν και να επιστρέφουν στο εργοστάσιο όπως και τα μουλάρια ) το οποίο θα ξεκινάει από το εργοστάσιο και θα καταλήγει σπίτι μας. Η μεταφορά της ενέργειας γίνεται πάρα πολύ γρήγορα, πολύ κοντά στην ταχύτητα του φωτός 300.000 Km/s. Από τι καθορίζεται όμως η παραγωγή ενός τέτοιου εργοστασίου και πως μπορούμε τώρα να την μετρήσουμε;

Όπως προαναφέραμε, το ρόλο των μουλαριών τον παίζουν πλέον τα ηλεκτρόνια. Έτσι το πρώτο που χρειάζεται να μάθουμε είναι πόσα ηλεκτρόνια φεύγουν από το εργοστάσιο στην μονάδα του χρόνου. Το μέγεθος αυτό στον ηλεκτρισμό το ονομάζουμε ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, και μετριέται με ένα όργανο που λέγεται αμπερόμετρο. Αν το

Τα ηλεκτρικά καλώδια μεταφέρουν «το αίμα» για να λειτουργήσει ο οργανισμός που λέγεται καταναλωτική κοινωνία και σύγχρονος πολιτισμός.



όργανο αυτό μας δείξει ένδειξη ενός αμπέρ αυτό σημαίνει ότι από το εργοστάσιο φεύγουν περίπου  $10^{19}$  ηλεκτρόνια το δευτερόλεπτο.

Το πόσα ξύλα κουβαλάει το κάθε μουλάρι, στο σύγχρονο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί με το πόση ενέργεια κουβαλάει το κάθε ηλεκτρόνιο. Αυτό το μέγεθος στη Φυσική το λέμε δυναμικό. Την διαφορά αυτού του μεγέθους ανάμεσα στην είσοδο και έξοδο του εργοστασίου τη λέμε διαφορά δυναμικού ή τάση. Μετριέται από ένα όργανο που λέγεται βολτόμετρο και οι μονάδες του είναι ένα βολτ (V). Εάν το όργανο μας δείχνει ένα βολτ τότε αυτό σημαίνει ότι το κάθε ηλεκτρόνιο κουβαλάει ενέργεια περίπου  $10^{-19}$  Joule. Για να καταλάβουμε το μέγεθος αυτής της ενέργειας αρκεί να πούμε ότι για να σηκώσουμε ένα μήλο σε ύψος 1 μέτρου, απαιτείται περίπου ενέργεια ενός Joule.

Για να βρούμε την παραγωγή του εργοστασίου στη μονάδα του χρόνου, θα πολλαπλασιάσουμε όπως και προηγούμενα τα δύο αυτά μεγέθη. Την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος επί την τάση. Έτσι αν για παράδειγμα τα όργανά μας στην έξοδο του εργοστασίου μας δείχνουν ένταση ενός αμπέρ (A) και τάση ενός βόλτ (V) η παραγωγή του εργοστασίου θα είναι ένα J το δευτερόλεπτο (ή ένα βάτ W).

Κατανοώντας ο άνθρωπος σε βάθος μία από τις σπουδαιότερες έννοιες της Φυσικής, την ενέργεια, μπόρεσε να καίει τα κάρβουνα στην Πτολεμαΐδα και να ζεσταίνει το νερό στην Αθήνα. Δεν είναι πράγματι ένα θαύμα;.

## Μορφές ενέργειας και τρόποι - διαδικασίες μεταφοράς ή μετατροπής της

Μέχρι τώρα μελετήσαμε ορισμένα είδη ενέργειας όπως την δυναμική, την κινητική, το άθροισμά τους που λέγεται μηχανική, την εσωτερική την πυρηνική τη χημική τη θερμική κλπ. Μελετήσαμε και διάφορους τρόπους- διαδικασίες μεταφοράς της ενέργειας ή μετατροπής της, όπως το έργο, τη θερμότητα, την ακτινοβολία τον ηλεκτρισμό κλπ. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να διακρίνουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τη διαφορά ανάμεσα σε κάποιο είδος ενέργειας και σε κάποια διαδικασία μεταφοράς της, αφού πολλές φορές υπάρχει σύγχυση μεταξύ των δύο αυτών εννοιών.

Αρχικά θα ξαναπούμε ότι οι μορφές ενέργειας συντάσσονται με το ρήμα **έχω**. Ένα σώμα έχει τόση κινητική ενέργεια. Δεν είναι όμως σωστό να πούμε ότι ένα σώμα έχει τόσο έργο ή τόσο θερμότητα, αφού το έργο και η θερμότητα είναι διαδικασίες. Οι διαδικασίες συντάσσονται με τα ρήματα **παίρνω, δίνω** για τη θερμότητα ή **παράγω, καταναλώνω** για το έργο ή **εκπέμπω απορροφώ** για την ακτινοβολία.

Η ενέργεια γενικά είναι είτε δυναμική, είτε κινητική στο μακρόκοσμο. Στο μικρόκοσμο πάλι η ενέργεια είναι είτε δυναμική είτε κινητική, αλλά σε αυτή την περίπτωση η δυναμική και η κινητική ενέργεια του μικρόκοσμου χαρακτηρίζεται ως εσωτερική.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η ενέργεια αποτελείται από 3 μορφές και από 6 τρόπους-διαδικασίες μεταφοράς της ή μετατροπή της.

Άρα η Α.Δ.Ε γράφεται ως εξής:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{εσωτ}} = W + Q + T_{\text{χημ}} + T_{\text{μηχ-κυμ}} + T_{\text{η/μ-κυμ}} + T_{\text{ηλ-καλ}}$$

Στο αριστερό μέλος της εξίσωσης φαίνονται τρεις μορφές ενέργειας, δηλαδή οι τρεις τρόποι αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα:

1. Κινητική ενέργεια **K**,
2. Δυναμική ενέργεια **U** και
3. Εσωτερική ενέργεια **E<sub>εσωτ</sub>**

Η συνολική μεταβολή στην ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας τις τρεις επιμέρους μεταβολές γι' αυτούς τους τύπους αποθηκευμένης ενέργειας. Η κινητική ενέργεια **K** στο αριστερό μέλος της εξίσωσης είναι το άθροισμα της μεταφορικής κινητικής ενέργειας του κέντρου μάζας του συστήματος, της περιστροφικής κινητικής ενέργειας γύρω από το κέντρο μάζας του συστήματος και της κινητικής ενέργειας που σχετίζεται με τις ακτινικές κινήσεις των μελών του συστήματος σε σχέση με το κέντρο μάζας. Η δυναμική ενέργεια **U** περιλαμβάνει όλα τα είδη, όπως βαρυτική, ηλεκτρική και ελαστική. Επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνουμε εδώ τη χημική δυναμική ενέργεια καυσίμων ή εκρηκτικών και τη βιολογική δυναμική ενέργεια από γεύματα. Για την εσωτερική ενέργεια έχουμε ήδη κάνει αναφορά.

## Η Ενέργεια

Στο δεξί μέλος της εξίσωσης ΑΔΕ βρίσκεται το συνολικό ποσό ενέργειας που διαπερνά τα σύνορα του συστήματος, εκφρασμένο ως το άθροισμα των ενεργειών που μεταβιβάζονται με έξι διαδικασίες:

1. **W**: έργο πάνω στο σύστημα από εξωτερικές δυνάμεις των οποίων τα σημεία εφαρμογής μετατοπίζονται.
2. **Q**: ενέργεια που διαβιβάζεται διαμέσου των συνόρων του συστήματος με θερμότητα εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο σύστημα και το περιβάλλον του.
3. **T<sub>χημ</sub>**: ενέργεια που διαβιβάζεται διαμέσου των συνόρων του συστήματος με μεταφορά ύλης, όπως όταν εισάγεται καύσιμο σε ένα δοχείο.
4. **T<sub>μηχ\_κυμ</sub>**: ενέργεια που διαβιβάζεται διαμέσου των συνόρων του συστήματος με μηχανικά κύματα όπως είναι τα ηχητικά και τα σεισμικά κύματα.
5. **T<sub>η/μ\_κυμ</sub>**: ενέργεια που διαβιβάζεται διαμέσου των συνόρων του συστήματος με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως είναι το φως και τα μικροκύματα.
6. **T<sub>ηλ\_καλ</sub>**: ενέργεια που διαβιβάζεται διαμέσου των συνόρων του συστήματος με ηλεκτρική μετάδοση μέσω καλωδίων από μία μπαταρία ή άλλη ηλεκτρική πηγή.

Με την παραπάνω σχέση ενοποιούνται και οι 4 αρχές διατήρησης που αναφέραμε σε μία αρχή, στην αρχή διατήρησης της ενέργειας.

## Σχέση μάζας και ενέργειας

### Μια ακόμη ενοποίηση. Η αρχή διατήρησης της υλοενέργειας

Πριν την ειδική θεωρία σχετικότητας είχαμε δύο αρχές διατήρησης.

- Την αρχή διατήρησης της μάζας του Lavoisier
- Την αρχή διατήρησης της ενέργειας

Ας αναφερθούμε σε αυτές μέσα από ένα παράδειγμα. Έστω ότι καίγεται μία ποσότητα βενζίνης που για λόγους απλότητας θα τη θεωρήσουμε ότι αποτελείται αποκλειστικά από οκτάνιο. Η αντίδραση της καύσης είναι η παρακάτω:



Η αρχή διατήρησης της μάζας μας λέει ότι από 1mol καύσης οκτανίου παράγονται 8 mol διοξειδίου του άνθρακα. Με πιο απλά λόγια αν κάψουμε τη βενζίνη 50 κιλών ενός ρεζερβουάρ παράγονται περίπου 150 κιλά διοξείδιο του άνθρακα τα οποία απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Και αυτό γιατί για την καύση της βενζίνης απαιτείται και μία ποσότητα οξυγόνου

Από την άλλη, η αρχή διατήρησης της ενέργειας από την παραπάνω εξίσωση, μας λέει ότι με την καύση 1mol=114 g οκτανίου απελευθερώνεται ενέργεια 1250Kcal αφού η αντίδραση είναι εξώθερμη. Στη μηχανή του αυτοκινήτου ένα μέρος από τη θερμότητα που ρέει από το χώρο καύσης στο περιβάλλον γίνεται έργο.

Με την ανάπτυξη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, οι δύο αυτές αρχές ενοποιήθηκαν σε μία. Στην αρχή διατήρησης της υλοενέργειας.

Η πιο γνωστή σχέση της φυσικής στον αιώνα μας, όλοι σίγουρα θα συμφωνούσατε ότι είναι η σχέση

$$E = m \cdot c^2$$

Σύμφωνα με αυτή τη σχέση η μάζα είναι μία μορφή ενέργειας. Έτσι γράφοντας με σχετιστικούς όρους την σχέση (1) θα είχαμε:

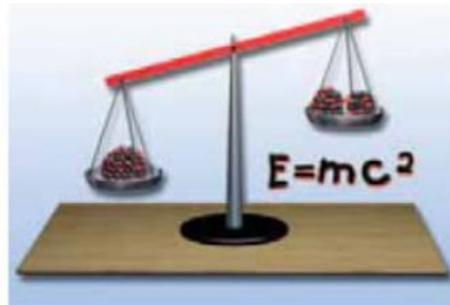
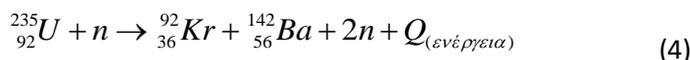
$$m_{C_8H_{18}} \cdot c^2 + m_{25/2 O_2} \cdot c^2 \rightarrow m_{8CO_2} \cdot c^2 + m_{9H_2O} \cdot c^2 + 1250Kcal \quad (2)$$

Και διαιρώντας με το  $c^2$  θα προκύψει η σχέση:

$$m_{C_8H_{18}} + m_{25/2 O_2} \rightarrow m_{8CO_2} + m_{9H_2O} + 1250Kcal/c^2 \quad (3)$$

Παρατηρούμε ότι η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη πλέον από τη μάζα των αντιδρώντων κατά τον παράγοντα  $1250Kcal/c^2$ . Επειδή όμως το  $c^2$  είναι πολύ μεγαλύτερο από το 1250Kcal η διαφορά στη μάζα που προκύπτει είναι αμελητέα.

Σε μία πυρηνική αντίδραση όμως, όπως πχ στη διάσπαση του ουρανίου 235 σύμφωνα με την αντίδραση:



**Εικόνα 11.6**

Ο πυρήνας του ουρανίου έχει μεγαλύτερη μάζα από τη συνολική μάζα των πυρήνων του βαρίου, του κρυπτού και των επιπλέον νετρονίων που παράγονται.

Η ενέργεια  $Q$  που απελευθερώνεται είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια που απελευθερώθηκε από την παραπάνω χημική αντίδραση και γι' αυτό η μεταβολή στις μάζες μεταξύ προϊόντων και αντιδρώντων είναι πλέον μετρήσιμη.

Επομένως μεταβολή στη μάζα μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων έχουμε και στις χημικές και στις πυρηνικές αντιδράσεις. Παρόλα αυτά είναι αρκετά διαδεδομένη η εσφαλμένη άποψη ότι η πυρηνική ενέργεια είναι πολύ μεγάλη και καταστροφική λόγω της μετατροπής της μάζας σε ενέργεια. Αν ήταν έτσι τα πράγματα δεν θα υπήρχε ενεργειακό πρόβλημα! Και αυτό γιατί αν μετατρέψουμε σε ενέργεια 1g ύλης θα πάρουμε ενέργεια  $9 \cdot 10^{13}$  joule  $\approx 2,5 \cdot 10^7$  KWh ικανή για να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια περίπου 100.000 νοικοκυριά για ένα μήνα! Δυστυχώς όμως δεν έχουν έτσι τα πράγματα.

Η σωστή άποψη είναι ότι η πυρηνική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη όχι λόγω της μετατροπής της μάζας σε ενέργεια η οποία όπως προαναφέραμε συμβαίνει και στις εξώθερμες χημικές αντιδράσεις, αλλά λόγω των πολύ ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων που επικρατούν στους πυρήνες προσδίδοντας έτσι σ' αυτούς μία πολύ μεγάλη δυναμική ενέργεια. Επιπλέον όπως θα δούμε στη συνέχεια, η αρχή αβεβαιότητας της κβαντομηχανικής επιβάλλει και πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια στα συστατικά του πυρήνα. Έτσι οι πυρήνες, μολονότι είναι αρκετά μικρότεροι των ατόμων είναι ενεργειακοί γίγαντες, ακριβώς γιατί είναι πολύ μικροί. Επειδή μία αναδιαμόρφωση των συστατικών των πυρήνων αντιστοιχεί σε μεγάλα ποσά ενέργειας, αυτό έχει ως συνέπεια οι μεταβολές της μάζας ηρεμίας των αρχικών και των τελικών πυρήνων να είναι μετρήσιμες.

Συμπερασματικά λοιπόν θα επαναλάβουμε ότι η σχέση  $E=mc^2$  δεν σχετίζεται με την πυρηνική ενέργεια. Πολύς κόσμος θεωρεί πατέρα της ατομικής βόμβας τον Einstein, πράγμα που είναι ιστορικά λάθος, αφού ο Einstein δεν έχει μείνει στην ιστορία για τις μελέτες του στην πυρηνική φυσική, αλλά για τη διατύπωση της ειδικής και της γενικής θεωρίας της σχετικότητας. Βέβαια πήρε το βραβείο Νόμπελ το 1922 για την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και όχι για τη θεωρία της σχετικότητας.

### Λίγα περισσότερα πράγματα για τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας.

Η θεωρία αυτή είναι μια πάρα πολύ «κομψή» θεωρία λόγω του γεγονότος ότι βασίζεται σε δύο μόνο αξιώματα. Το ένα μάλιστα αξίωμα ισχύει και στη Νευτώνεια Μηχανική. Το δεύτερο που τροποποιεί ριζικά τη θεωρία σχετικότητας από τη Νευτώνεια μηχανική, είναι το αξίωμα σταθερότητας της ταχύτητας του φωτός. Πολλές φορές οι μεγαλοφυείς σκέψεις είναι και πολύ απλές. Έτσι όταν στην εποχή του Einstein οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να εξηγήσουν γιατί η ταχύτητα του φωτός μετριέται η ίδια, είτε κινιόμαστε προς τη κατεύθυνση του φωτός είτε αντίθετα, βρέθηκε ένας νεαρός φυσικός σαν δεύτερος Αλέξανδρος που έλυσε το γόρδιο δεσμό κόβοντάς τον με το σπαθί του, ξεπέρασε το παράδοξο της σταθερότητας της ταχύτητας του φωτός, λαμβάνοντας την αληθή αξιωματικά. Έτσι δημιουργήθηκε μια νέα θεωρία με πάρα πολλές νέες φυσικές και φιλοσοφικές επεκτάσεις. Μια από αυτές τις νέες αντιλήψεις που εισήγαγε η θεωρία, είναι ότι η ενέργεια ενός σωματιδίου δίνεται από τη σχέση:

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \quad (5)$$

Από τη σχέση προκύπτει ότι στη φύση υπάρχουν και άμαζα σωματίδια όπως τα φωτόνια και τα γκλουόνια τα οποία όμως παρότι δεν έχουν μάζα, έχουν ενέργεια και ορμή. Τα σωματίδια αυτά κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Όταν δεν μπορούν να κινηθούν τότε εξαφανίζονται δίνοντας την ενέργειά τους σε κάποια άλλα σωματίδια ή συμβάλλοντας στη δημιουργία νέων σωματιδίων. Η σχέση που ισχύει γι αυτά τα σωματίδια είναι η  $E=pc$  αφού  $m=0$ .

Η ειδική θεωρία σχετικότητας μας λέει ότι ένα ακίνητο και ελεύθερο σωματίδιο έχει ενέργεια χωρίς να έχει ούτε δυναμική ενέργεια (αφού είναι ελεύθερο και δεν αλληλεπιδρά με άλλα σωματίδια) αλλά ούτε και κινητική, αφού όπως είπαμε είναι ακίνητο. Άρα όλα τα σωματίδια έχουν ενέργεια και αυτό φαίνεται από την εξίσωση (5) αφού το πρώτο μέλος της δεν μπορεί να μηδενιστεί.

## Η Αρχή της Αβεβαιότητας

### Μία μικρή παραβίαση της Α.Δ.Ε που σε αυτήν ίσως να οφείλονται τα πάντα

Μία πολύ σπουδαία αρχή της κβαντομηχανικής η οποία αποτελεί την κύρια κολώνα της σύγχρονης φυσικής, είναι η αρχή της αβεβαιότητας. Η αρχή αυτή μας λέει ότι υπάρχουν ζευγάρια φυσικών μεγεθών που δεν είναι δυνατό να μετρηθούν και τα δύο μεγέθη με όση ακρίβεια επιθυμούμε. .

Τέτοια ζευγάρια μεγεθών είναι η θέση και η ορμή καθώς και η ενέργεια και ο χρόνος. Γι αυτά τα ζευγάρια θα ισχύουν οι ανισότητες

$$\Delta P_x \cdot \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (1) \qquad \Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (2)$$

Όπου  $\Delta$  το σφάλμα μέτρησης αντίστοιχου μεγέθους και  $\hbar = 1,054571800 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  μία σταθερά που λέγεται σταθερά του Πλάνκ

Ας προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε φυσικά λίγο πιο πολύ τις παραπάνω σχέσεις.

Η σχέση (1) μας λέει ότι στο μικρόκοσμο είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε με οποιαδήποτε ακρίβεια επιθυμούμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου. Με πιο απλά λόγια αν ένα σωματίδιο πάμε να το εγκλωβίσουμε σ' έναν περιορισμένο χώρο ( ώστε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση του ) τότε το σωματίδιο αυτό αποκτά μεγάλη αβεβαιότητα στην ταχύτητα, άρα και μεγάλη ταχύτητα.

Η κατάσταση μοιάζει με τη συμπεριφορά ενός λιονταριού. Αν το λιοντάρι είναι ελεύθερο στην αχανή σαβάνα, τότε μπορούμε να το δούμε όλη την ημέρα να κοιμάται. Η θέση του είναι αβέβαιη. Το λιοντάρι βρίσκεται κάπου στη αχανή σαβάνα. Η ταχύτητα του όμως είναι σαφώς καθορισμένη. Το λιοντάρι κοιμάται οπότε έχει μηδενική ταχύτητα. Όταν όμως το εγκλωβίζουμε σ' ένα κλουβί, η θέση του είναι πολύ πιο καλά προσδιορισμένη. Το λιοντάρι βρίσκεται κάπου μέσα στο κλουβί. Τότε όμως λόγω της νευρικότητας που αποκτάει πηγαίνει διαρκώς στο κλουβί του. Η ταχύτητά του δεν είναι σαφώς προσδιορισμένη. Έτσι συμπεριφέρονται όλα τα σωματίδια στο μικρόκοσμο.

Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα ηλεκτρόνιο. Όταν δεν αλληλεπιδρά με άλλα σωματίδια μπορεί να βρεθεί και ακίνητο ή σχεδόν ακίνητο κάπου γενικά στο χώρο. Όταν όμως αλληλεπιδρά με ένα πρωτόνιο, τότε επειδή έλκεται από αυτό περιορίζεται σε μία περιοχή γύρω από το πρωτόνιο. Η θέση του περιορίζεται οπότε σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας αυξάνεται η αβεβαιότητα στην ταχύτητά του, οπότε μπορεί να βρεθεί και με μεγάλη ταχύτητα. Άρα ποτέ δεν θα βρούμε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο «κολλημένα», μολονότι έλκονται, αφού τότε το ηλεκτρόνιο θα είχε μία πολύ συγκεκριμένη θέση, επομένως θα αποκτούσε και μία τεράστια ταχύτητα λόγω της αρχής της αβεβαιότητας ή απροσδιοριστίας.

Η σχέση (2) έχει λίγο διαφορετικό φυσικό νόημα. Η σχέση (2) μας λέει ότι ακόμη και η περίφημη ΑΔΕ μπορεί να παραβιαστεί αρκεί ο χρόνος για τον οποίο θα γίνει αυτή η παραβίαση να διαρκέσει τόσο λίγο όσο επιβάλλει η σχέση (2). Μας λέει δηλαδή ότι σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα ( και είναι πολύ μικρά γιατί η σταθερά του Πλάνκ είναι πολύ μικρός αριθμός) μπορεί να συμβεί ακόμη και η παραβίαση της Α.Δ.Ε. Αυτό έχει πολλές και καίριες συνέπειες για τη φυσική αλλά και την ίδια μας την ύπαρξη. Ως γνωστό κάθε σωματίδιο έχει και ένα δίδυμο αδελφάκι που είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό αλλά έχει αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Το σωματίδιο αυτό είναι το σωματίδιο της αντιύλης. Έτσι το αδελφάκι του ηλεκτρονίου είναι το ποζιτρόνιο, του πρωτονίου το αντιπρωτόνιο κοκ. Λόγω της αρχής της αβεβαιότητας μπορεί από το πουθενά να εμφανιστεί ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο παραβιάζοντας την ΑΔΕ αρκεί να εξαφανιστούν σε κάποιο μικρό χρόνο. Κάπως έτσι από μία διακύμανση του κενού πιστεύουμε ότι δημιουργήθηκε και ο κόσμος μας. Για άγνωστους προς το παρόν λόγους η ύλη που δημιουργήθηκε ήταν λίγο περισσότερη από την αντιύλη. Έτσι ύλη και αντιύλη εξαφανίστηκαν δημιουργώντας φως, ενώ η ύλη που υπάρχει σήμερα στον κόσμο μας είναι το περίσσειμα της ύλης σε σχέση με την αντιύλη από την εποχή της δημιουργίας.

## Η Αρχή της Ελαχίστης Ενέργειας

Η αρχή της ελάχιστης ενέργειας, είναι μια παραμελημένη αρχή, με την έννοια ότι ενώ είναι μία πολύ χρήσιμη αρχή για να κατανοήσουμε πολλά φυσικά αλλά και χημικά ή και βιολογικά φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω μας, μικρές αναφορές υπάρχουν γύρω από αυτήν στα σχολικά εγχειρίδια. Με τη χρήση της όμως μπορούμε να δούμε τη φύση λίγο πιο απλή από ότι αρχικά μας φαίνεται. Αυτός είναι άλλωστε και ο σκοπός της φυσική επιστήμης. Το γιατί αυτή η αρχή δεν παίζει καθοριστικό ρόλο στα σχολικά βιβλία, είναι άγνωστο τουλάχιστον για το συγγραφέα.

Την αρχή αυτή θα την εξετάσουμε στους διάφορους τομείς της φυσικής αρχίζοντας από τη μηχανική.

### Η Α.Ε.Ε Στη Μηχανική:

Γνωρίζουμε ότι η μηχανική ενέργεια είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής. Όταν υπάρχουν τριβές, τότε η μηχανική ενέργεια δεν παραμένει σταθερή, αλλά μέσω του έργου των τριβών, μετατρέπεται σιγά-σιγά σε θερμική και ίσως και σε κάποιες άλλες μορφές. (ηχητική, παραμόρφωσης κτλ). Στη θέση ισορροπίας ενός σώματος θα έχουμε κινητική ενέργεια ίση με μηδέν, αφού αν στη θέση ισορροπίας του είχε ταχύτητα, τότε λόγω των τριβών, θα ελαττωνόταν συνεχώς μέχρι να μηδενιστεί. Λόγω όμως της ΑΕΕ στη θέση ισορροπίας θα έχει και την ελάχιστη δυναμική ενέργεια. Έτσι μπορούμε να δούμε τη κίνηση των σωμάτων (πχ ενός ταλαντωτή) σαν τη προσπάθεια των σωμάτων να φθάσουν στη θέση ισορροπίας τους, όπου θα ελαχιστοποιήσουν την δυναμική τους ενέργεια και έτσι θα ηρεμήσουν. Ίσως τώρα να καταλαβαίνετε καλύτερα γιατί όταν επιστρέψετε σπίτι σας κουρασμένοι, κάθιστε σε καρέκλα, ή ακόμη καλύτερα ξαπλώνετε στο κρεβάτι σας, αφού έτσι ελαχιστοποιείτε την μηχανική σας ενέργεια.

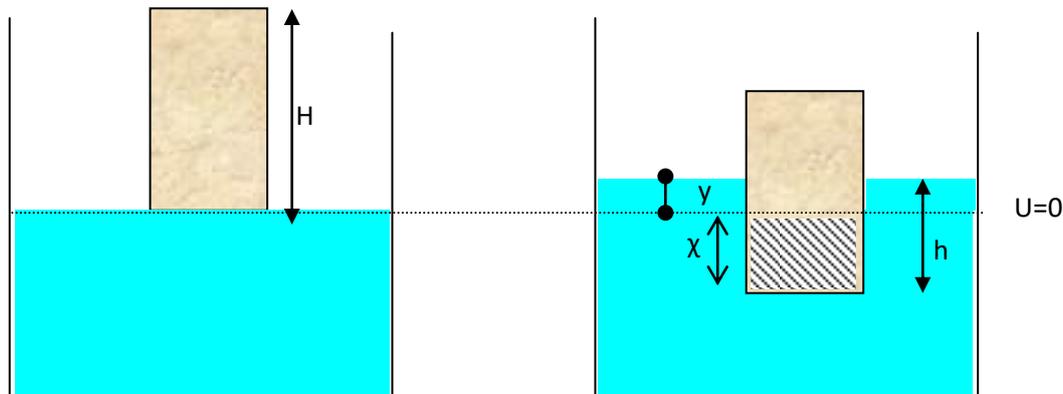
Η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων είναι και αυτή ένα πόρισμα της ΑΕΕ. Αν σε δύο συγκοινωνούντα δοχεία η στάθμη του νερού δεν ήταν ίδια και από τα δύο μέρη, τότε η συνολική ποσότητα του νερού θα είχε μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια από ότι εάν η στάθμη του νερού ήταν ίδια και στα δύο δοχεία. Έτσι το νερό κινείται από το ένα δοχείο στο άλλο, με σκοπό να αποκτήσει τελικά μικρότερη δυναμική ενέργεια. Το γεγονός ότι όταν ανοίγουμε τη βρύση μας τρέχει νερό, οφείλεται στην ΑΕΕ. Το νερό της βρύσης μας θέλει να φθάσει τη στάθμη του υδραγωγείου, ενώ αντίθετα το νερό του υδραγωγείου θέλει να κατέβει στη στάθμη της βρύσης μας, γιατί έτσι θα ελαχιστοποιηθεί η δυναμική του ενέργεια.

Γενικό συμπέρασμα λοιπόν είναι ότι η θέση ισορροπίας των σωμάτων είναι και θέση ελάχιστης ενέργειας και ότι στη φύση τα σώματα τείνουν να καταλάβουν τη θέση ισορροπίας τους, άρα τείνουν να αποκτήσουν την ελάχιστη μηχανική άρα και δυναμική ενέργεια, αφού στη θέση ηρεμίας η κινητική ενέργεια μηδενίζεται.

Ακόμη την ισορροπία ενός πλοίου μπορούμε να την εξηγήσουμε με την ΑΕΕ. Όταν γίνεται η καθέλκυση του πλοίου, η δυναμική ενέργεια του πλοίου όσο αυτό βυθίζεται, ελαττώνεται. Αντίθετα η δυναμική ενέργεια του νερού αυξάνεται, αφού η στάθμη των νερών ανεβαίνει, έστω και ελάχιστα. Τελικά το πλοίο θα ισορροπήσει στη θέση εκείνη, που η δυναμική ενέργεια του συστήματος πλοίο- νερό έχει την ελάχιστη ενέργεια. Η δύναμη της άνωσης μπορεί λοιπόν να προκύψει από την ΑΕΕ! Πιο αναλυτικά:

Θα πάρουμε ένα κυλινδρικό σώμα μέσα σε υγρό και θα βρούμε σε ποια θέση ελαχιστοποιείται η δυναμική ενέργεια του συστήματος σώμα – υγρό. Η θέση αυτή θα είναι και θέση ισορροπίας. Προσδιορίζοντας τη θέση ισορροπίας μπορούμε να βρούμε τη δύναμη που ασκείται προς τα πάνω και εξουδετερώνει το βάρος του σώματος. Θα αποδείξουμε ότι η δύναμη αυτή ισούται πάντα με το βάρος του εκτοπιζομένου υγρού.

## Η Ενέργεια



Έστω ότι ο κύλινδρος βρίσκεται όλος έξω από το υγρό και ότι το σύστημα κύλινδρος – υγρό έχει κάποια δυναμική ενέργεια  $U$ . Βυθίζοντας τον κύλινδρο κατά  $x$  μέσα στο υγρό ελαττώνεται η δυναμική ενέργεια του κυλίνδρου κατά  $Mgx$  αφού το κέντρο μάζας του κυλίνδρου κατέβηκε κατά  $x$ . Για το υγρό τα πράγματα είναι λίγο πιο πολύπλοκα. Το υγρό που εκτοπίστηκε από το κατέβασμα του κυλίνδρου, (το γραμμοσκιασμένο) ανέβηκε κατά  $y$ . Έτσι η δυναμική ενέργεια του υγρού αυξήθηκε κατά  $mg(x+y)/2$  όπου  $m$  η μάζα του υγρού που είναι γραμμοσκιασμένο και του οποίου το κέντρο μάζας του ανέβηκε κατά  $(x+y)/2$  αφού πριν τη βύθιση του κυλίνδρου το κέντρο βάρους του ήταν  $x/2$  κάτω από τη στάθμη του υγρού ενώ μετά τη βύθιση είναι  $y/2$  πάνω από τη στάθμη του υγρού.

Έτσι έχουμε μια ελάττωση της δυναμικής ενέργειας του συστήματος κατά

$$\Delta U = Mgx - mg(x+y)/2$$

Αλλά  $mg = \varepsilon_v Sx$  και  $Sx = S_1 y$  όπου  $S$  το εμβαδόν επιφάνειας του κυλίνδρου και  $S_1$  το εμβαδόν επιφάνειας του παράπλευρου υγρού που ανέβηκε. Οπότε

$$\Delta U = \varepsilon_\sigma SHx - \frac{\varepsilon_v Sx^2}{2} \left(1 + \frac{S}{S_1}\right)$$

Η δευτεροβάθμια αυτή συνάρτηση ως προς  $x$  παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν  $x = -\beta/2\alpha$

$$x = \frac{\varepsilon_\sigma H}{\varepsilon_v \left(1 + \frac{S}{S_1}\right)}$$

Άρα

Το σώμα στη θέση που έχει την ελάχιστη δυναμική ενέργεια το σύστημα, θα είναι βυθισμένο κατά  $h = x + y = x \left(1 + S/S_1\right) = \varepsilon_\sigma H / \varepsilon_v$  (1)

Στη θέση ισορροπίας η συνολική δύναμη που ασκείται στον κύλινδρο ισούται με μηδέν. Άρα όταν το σώμα είναι βυθισμένο κατά  $h$  θα δέχεται μια δύναμη προς τα πάνω ίση με το βάρος του. Δηλαδή Άνωση = Βάρος οπότε Άνωση =  $\varepsilon_\sigma SH$  Οπότε λόγω της (1) Άνωση =  $\varepsilon_v hS$

Επειδή όταν βυθίζουμε τον κύλινδρο το μόνο που αλλάζει θα είναι το  $h$  ο τύπος της άνωσης θα δίνεται γενικότερα ( και όχι μόνο στη θέση ισορροπίας ) από την ίδια σχέση, άρα:

ΆΝΩΣΗ = Βάρος εκτοπιζομένου υγρού.

## Η Α.Ε.Ε Στον Ηλεκτρισμό

Όπως και στη μηχανική έτσι και στον ηλεκτρισμό τα φορτία κινούνται με σκοπό να αποκτήσουν τελικά την ελάχιστη δυναμική ενέργεια. Το αντίστοιχο μέγεθος με το υψόμετρο της μηχανικής το ονομάζουμε «δυναμικό» και την υψομετρική διαφορά, την ονομάζουμε διαφορά δυναμικού, ή «τάση». Τάση προς κίνηση των φορτίων βέβαια. Η μόνη διαφορά με την μηχανική είναι, ότι στον ηλεκτρισμό, έχουμε δύο ειδών φορτία, τα θετικά και τ' αρνητικά, ενώ στη μηχανική η μάζα είναι πάντοτε θετική. Έτσι τα θετικά φορτία κινούνται όπως και οι μάζες, από τα υψηλά δυναμικά στα χαμηλά, ενώ τ' αρνητικά φορτία κινούνται ανάποδα. Από τα χαμηλά δυναμικά προς τα υψηλά. Η κίνηση των αρνητικών φορτίων, μοιάζει με τη κίνηση των σολομών στα ποτάμια, που κινούνται ανάποδα με τη ροή του ποταμού. Για φανταστείτε αλήθεια πόσο παράξενα θα συμπεριφερόταν μια αρνητική μάζα; αν την αφήναμε, μολονότι θα ήταν πολύ βαριά, θα πήγαινε προς τα πάνω και όχι προς τα κάτω. Τα ποτάμια από αρνητική μάζα, θα ξεκινούσαν από τη θάλασσα και θα ταξίδευαν προς τις κορυφές των βουνών!

Όταν κλείνουμε το διακόπτη για ν' ανάψει το φως ή ο θερμοσίφωνα, αυτό που τελικά γίνεται είναι ότι τα φορτία κινούνται λόγω της διαφοράς δυναμικού που επικρατεί στα δύο άκρα της πρίζας μας, με σκοπό πάντα να αποκτήσουν τη χαμηλότερη δυναμική ενέργεια. Η κίνηση όμως αυτή των φορτίων δεν είναι τόσο εύκολη κατά μήκος όλου του αγωγού. Στη λάμπα, επειδή το σύρμα είναι αρκετά λεπτό, η κίνηση των φορτίων γίνεται αρκετά δύσκολα και έτσι αναπτύσσεται θερμότητα, η οποία είναι και το αίτιο φωτοβολίας της λάμπας (σε μια λάμπα πυρακτώσεως). Το ίδιο συμβαίνει και στο θερμοσίφωνα.

Η λειτουργία λοιπόν των περισσότερων ηλεκτρικών συσκευών στο σπίτι μας, οφείλεται στην ΑΕΕ.

Ας πάμε λίγο παρακάτω. Έστω ότι έχουμε 5 ομώνυμα και ίσα φορτία τα οποία τα αφήνουμε να κινηθούν ελεύθερα στο εσωτερικό κύκλου φτιαγμένου από μονωτικό υλικό. Τα φορτία, λόγω της μεταξύ τους άπωσης, θ' αρχίσουν να κινούνται και τελικά θα ισορροπήσουν στη περιφέρεια του κύκλου, αφού θέλουν να βρεθούν το ένα όσο δυνατόν πιο μακριά από το άλλο. Και το εκπληκτικότερο είναι ότι για να συμβεί αυτό, όπως μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά, (όχι και τόσο εύκολα), θα πρέπει τα φορτία να ισορροπήσουν στις κορυφές κανονικού πενταγώνου. Έτσι θα σχηματιστεί μια συμμετρική διάταξη. Καταλήξαμε λοιπόν στο συμπέρασμα, ότι η συμμετρία που εμφανίζεται στη φύση, είναι αποτέλεσμα της ΑΕΕ. Έτσι το συμμετρικό σχήμα των λουλουδιών, των ζώων, του αστερία κτλ είναι αποτέλεσμα της οικονομίας της φύσης. Με άλλα λόγια, η ομορφιά που συναντάμε στη φύση, έχει άμεση σχέση με τη συμμετρία και είναι αποτέλεσμα της οικονομίας, δηλαδή της ΑΕΕ. Το σχήμα των κυψελών που φτιάχνουν οι μέλισσες για να αποθηκεύσουν το μέλι, είναι κανονικό εξάγωνο. Αποδεικνύεται ότι στιδήποτε άλλο σχήμα αν είχαν οι κυψέλες, οι μέλισσες θα αναγκαζόντουσαν να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερη ποσότητα κεριού, για να φτιάξουν τα κελιά τους με την ίδια χωρητικότητα.

### Ο 2ος ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ ΚΙΡΧΩΦ ΚΑΙ Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

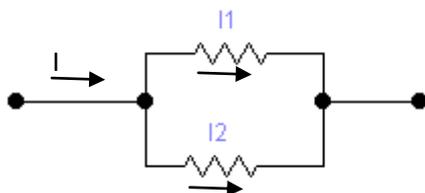
Στο σχολικό βιβλίο η απόδειξη του 2ου κανόνα του Κίρχωφ βασίζεται πάνω στην αρχή διατήρησης της ενέργειας και γίνεται για μία πηγή και έναν αντιστάτη. Γενικεύοντας τη σχέση έχουμε

$$\Sigma E = \Sigma IR \quad (1)$$

Αν εφαρμόσουμε τη σχέση αυτή σε ένα βρόχο ο οποίος δεν περιλαμβάνει πηγές η παραπάνω εξίσωση παίρνει τη μορφή

$$\Sigma IR = 0 \rightarrow \Sigma V = 0 \quad (2)$$

Η απόδειξη της παραπάνω σχέσης βασίζεται στη σύνδεση τάσης – δυναμικού - διαφοράς δυναμικού και στην διαπίστωση ότι αν ένα μέρος του κυκλώματος δεν περιλαμβάνει πηγές, το ηλεκτρικό πεδίο σε αυτό το τμήμα είναι συντηρητικό. Πράγμα διόλου αυτονόητο. Σε αυτή τη σημείωση θα αποδείξουμε τη σχέση (2) επικαλούμενοι την αρχή της ελαχίστης ενέργειας, χωρίς να αναφερθούμε στα δυναμικά και στις διαφορές τους, σε συντηρητικά ή μη συντηρητικά πεδία.



Στο παραπάνω κύκλωμα λόγω της αρχής διατήρησης του φορτίου (1ος κανόνας του Κίρχωφ ) ισχύει ότι

## Η Ενέργεια

$$I = I_1 + I_2 \quad (3)$$

Η ισχύς που καταναλώνει το κύκλωμα είναι:

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_1 + (I - I_1)^2 R_2 = I_1^2 R_1 + I^2 R_2 + I_1^2 R_2 - 2I_1 I R_2 = I_1^2 (R_1 + R_2) - 2I_1 I R_2 + I^2 R_2$$

Το τριώνυμο ως προς  $I_1$  παίρνει την μικρότερη τιμή στη θέση  $-b/2a$  οπότε η ισχύς που καταναλώνει το κύκλωμα θα γίνεται ελάχιστη όταν:

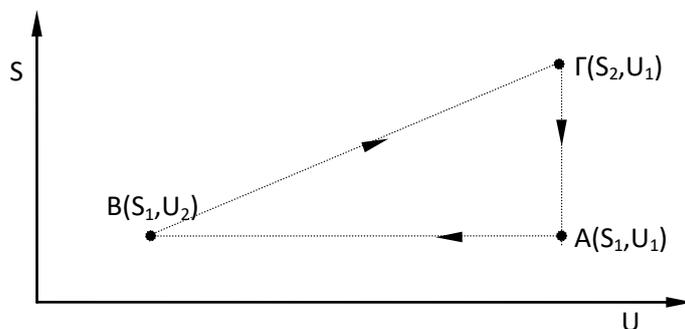
$$I_1 = 2 \frac{R_2}{2(R_1 + R_2)} I \rightarrow I_1 (R_1 + R_2) = (I_1 + I_2) R_2 \rightarrow I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0 \rightarrow \Sigma V = 0$$

## Η Α.Ε.Ε Στην Οπτική

Ας υποθέσουμε ότι κινούμαστε μ' ένα πλοίο, με σταθερή κατά μέτρο ταχύτητα  $u$ . τότε για να πάμε από τον έναν τόπο σ' έναν άλλον πιο οικονομικά, δηλαδή με όσο το δυνατό λιγότερα καύσιμα, άρα και λιγότερη ενέργεια, θα πρέπει προφανώς, ν' ακολουθήσουμε το συντομότερο δρόμο. Αυτό ακριβώς κάνει και το φως αλλά και οποιοδήποτε άλλο κύμα, όπως ο ήχος κτλ. Αυτό για το φως λέγεται αρχή του Fermat. Με την αρχή αυτή μπορούμε να εξηγήσουμε τα φαινόμενα της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός, της ανάκλασης και της διάθλασης.

## Η Α.Ε.Ε Στη Θερμότητα

Θα αποδείξουμε ότι αν ένα σύστημα έχει σε κάποια κατάσταση μέγιστη εντροπία, τότε σ' αυτή τη κατάσταση θα έχει ελάχιστη εσωτερική ενέργεια. Έτσι, επειδή όπως γνωρίζουμε σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, κάθε μονωμένο σύστημα στη φύση οδεύει προς τη κατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας, δηλαδή προς μεγιστοποίηση της εντροπίας του, από την άλλη μεριά θα οδεύει προς τη κατάσταση της ελαχιστοποίησης της εσωτερικής του ενέργειας. Η απόδειξη βασίζεται στην άτοπο απαγωγή.



Έστω ότι το σύστημα βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία στη κατάσταση A και έχει εντροπία  $S_1$  που είναι μέγιστη και εσωτερική ενέργεια  $U_1$  η οποία έστω ότι δεν είναι ελάχιστη. Τότε θα υπάρχει μια άλλη κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, έστω B, που θα έχει την ίδια εντροπία (αφού υποθέσαμε ότι η  $S_1$  είναι μέγιστη) και μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια, έστω  $U_2$ . Το σύστημα θα μπορεί να πάει από τη κατάσταση A στη κατάσταση B, αφαιρώντας ισηντροπικά ενέργεια. Από τη κατάσταση τώρα B, αν προσθέσουμε ίσο ποσό θερμότητας με την ενέργεια που αφαιρέσαμε από τη κατάσταση A, το σύστημα θα μεταβεί σε μια κατάσταση Γ, που θα έχει το ίδιο ποσό ενέργειας που είχε στη κατάσταση A, αλλά μεγαλύτερο ποσό εντροπίας, αφού όπως γνωρίζουμε, αν δώσουμε θερμότητα σ' ένα σύστημα, η εντροπία του θ' αυξηθεί. Έτσι η κατάσταση Γ, θα έχει ίδια ενέργεια με τη κατάσταση A, αλλά μεγαλύτερη εντροπία. Πράγμα άτοπο, αφού υποθέσαμε ότι το σύστημα στη κατάσταση A έχει τη μεγαλύτερη δυνατή εντροπία. Στο άτοπο καταλήξαμε γιατί υποθέσαμε ότι στη κατάσταση A η ενέργεια δεν είναι ελάχιστη.

Άρα μια κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας που θα χαρακτηρίζεται από μέγιστη εντροπία, θα χαρακτηρίζεται συγχρόνως και από ελάχιστη εσωτερική ενέργεια.

## Η Ενέργεια

Όπως είδαμε στον ηλεκτρισμό, η ΑΕΕ οδηγεί στη συμμετρία και κατά συνέπεια στη τάξη και την ομορφιά. Στη θερμοδυναμική όμως, διαπιστώσαμε ότι η αρχή αυτή οδηγεί ή είναι ισοδύναμη με την μεγιστοποίηση της εντροπίας, που ως γνωστό σημαίνει αύξηση της αταξίας. Τελικά τι γίνεται; Η φύση οδηγείται σε τάξη ή σε αταξία; Το ερώτημα αυτό είναι θεμελιακό για τη φυσική και μόνο τα τελευταία χρόνια αρχίζει να διαφαίνεται μια πιθανή απάντησή του, με τη μελέτη συστημάτων μακριά από τη θερμοδυναμική ισορροπία, η οποία γίνεται με τη βοήθεια μη γραμμικών μαθηματικών, γνωστών και ως θεωρία του χάους. Έτσι μπορούμε να πούμε, ότι ένα σύστημα που βρίσκεται μακριά από τη κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας η εντροπία του αυξάνεται, δηλαδή το σύστημα οδηγείται στο χάος και την αταξία, μόλα ταύτα, μπορούν μερικά τμήματα του συστήματος, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να αυτοοργανώνονται, και να παρουσιάζουν πολύ πολύπλοκες δομές, παραβιάζοντας τοπικά το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Αυτό δεν είναι χαρακτηριστικό μόνο του έμβιου κόσμου, αλλά μπορεί να παρατηρηθεί και σε ανόργανα συστήματα.

Άρα η φύση είναι εν' γένει απλή και οικονομία. Που και που όμως κάνει τις σκανδαλιές της και ίσως μέσα από μια τέτοια σκανδαλιά, στα πλαίσια πάντα των νόμων που την διέπουν, ( οι ίδιοι οι νόμοι της αφήνουν περιθώρια για σκανδαλιές ) να γεννηθήκε η ζωή πάνω στο πλανήτη και στη συνέχεια ο άνθρωπος.

## Η Α.Ε.Ε Στην Ατομική – Πυρηνική Φυσική

Ως γνωστό, η σχέση αβεβαιότητας για το ζεύγος θέση-ορμή είναι η  $\Delta p \cdot \Delta r \geq \frac{\hbar}{2}$

Αφού οι αβεβαιότητες θέσης και ορμής πρέπει να υπακούουν στην παραπάνω ανισότητα μπορούμε για τις μέσες τιμές των αντίστοιχων μεγεθών να γράψουμε:

$$p \cdot r = \hbar$$

Υπολογίζοντας την ενέργεια του ηλεκτρονίου έχουμε:

$$E = \frac{p^2}{2m} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} = \frac{\hbar^2}{2r^2m} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

Μηδενίζοντας την παράγωγο της παραπάνω σχέσης ώστε να εξασφαλίσουμε την ελαχιστοποίηση της ενέργειας, καταλήγουμε στη σχέση που δίνει την ακτίνα του Bohr

$$r_0 = \frac{4\hbar^2 \pi \epsilon_0}{me^2}$$

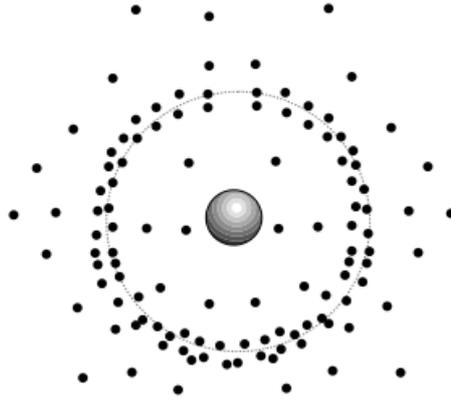
Συνεπώς είμαστε υποχρεωμένοι να πούμε ότι το «e» θα βρίσκεται γενικά γύρω από το πυρήνα, με μεγαλύτερη πιθανότητα να βρίσκεται σε απόσταση  $r_0$  από αυτόν, χωρίς όμως να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο, να βρεθεί και σε κάποια άλλη διαφορετική απόσταση. Η τροχιά δεν μπορεί να είναι επίπεδη, αφού μια επίπεδη κίνηση του «e» θα σήμαινε  $u_z=0$  και  $z=0$  πράγμα άτοπο σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας. ( αφού τότε θα γνωρίζαμε με απόλυτη ακρίβεια τη θέση και τη ταχύτητα του «e» στον άξονα z.)

ΆΡΑ Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΠΕΤΑΙ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΑΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ Ή ΤΟΥ ΤΡΟΧΙΑΚΟΥ

Το μοντέλο μας λοιπόν, σε σχέση με αυτό των δορυφόρων, έχει εντελώς αλλάξει, από το γεγονός και μόνο της ισχύος της αρχής της αβεβαιότητας. Το ηλεκτρόνιο τελικά, βρίσκεται με μεγαλύτερη πιθανότητα σε απόσταση  $r_0$  από το πυρήνα, γιατί τότε γίνεται το ιδανικό πάντρεμα των δύο αρχών. Της αρχής της αβεβαιότητας και της αρχής της ελάχιστης ενέργειας.

Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του Υδρογόνου όταν βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση μπορεί να βρεθεί με την ίδια πιθανότητα στην ίδια απόσταση από τον πυρήνα. Δηλαδή στη θεμελιώδη κατάσταση έχουμε μία σφαιρική συμμετρία. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει μία προτιμητέα κατεύθυνση, οπότε η στροφορμή στη θεμελιώδη κατάσταση είναι ίση με μηδέν. Ένα αποτέλεσμα που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την κλασική φυσική.

## Η Ενέργεια



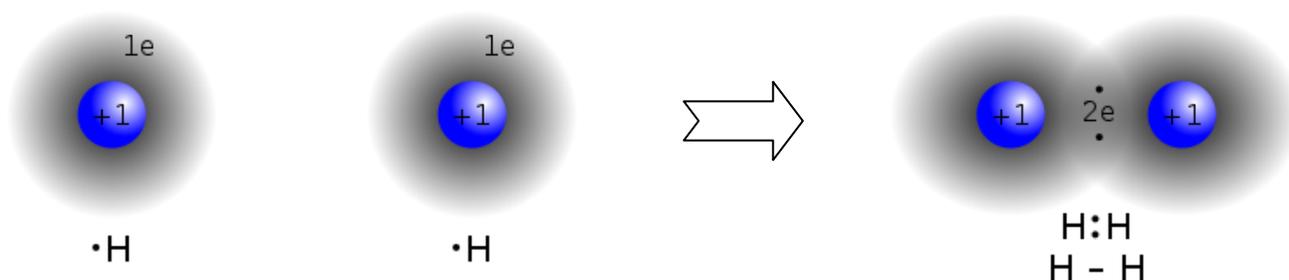
η πιθανότητα να βρούμε το ηλεκτρόνιο σε απόσταση  $r$  μεγιστοποιείται στην ακτίνα  $r_0$  που ταυτίζεται με την ακτίνα του Bohr

## Η Α.Ε.Ε Στη Χημεία

### Η δημιουργία των μορίων

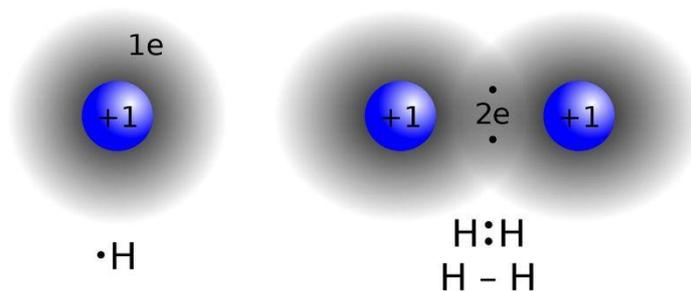
Μέχρι τώρα αναφέραμε ότι η δομή των ατόμων βασίζεται σε δυο αρχές. Στην αρχή της αβεβαιότητας και στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας. Πως όμως μπορεί να δημιουργηθεί ένα μόριο  $H_2$  ;

Είναι δύσκολο να κατανοήσουμε πως είναι δυνατό δύο πρωτόνια να ενώνονται και να σχηματίζουν ένα μόριο υδρογόνου, αφού ως γνωστό αυτά απωθούνται. Παρόλα αυτά δημιουργούν μία σταθερή δομή και αυτό γιατί το ζεύγος των ηλεκτρονίων παίζει το ρόλο της κόλλας μεταξύ των πρωτονίων. Τα ηλεκτρόνια δεν ανήκουν πλέον στον έναν ή στον άλλον πυρήνα, αλλά ανήκουν και στους δύο πυρήνες.



### Η ιδέα του Yukawa:

#### Η ανταλλαγή ενός σώματος με μάζα ισοδυναμεί με άσκηση δύναμης μικρής εμβέλειας



Ο μηχανισμός των δυνάμεων ανταλλαγής προτάθηκε από τον **Heisenberg** (1932), με παράδειγμα τον ομοιοπολικό δεσμό ο οποίος αναπτύσσεται μέσω της ανταλλαγής ηλεκτρονίων μεταξύ των ατόμων.

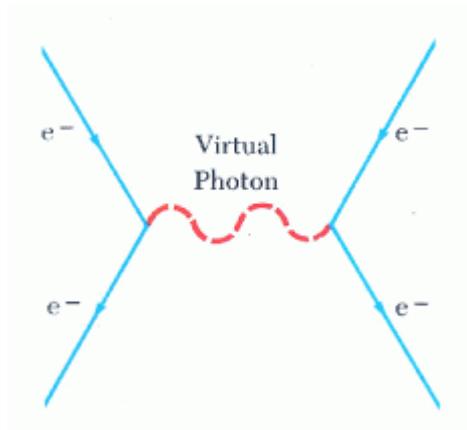
Αυτό συμβαίνει γιατί σ' αυτή την περίπτωση η ενέργεια του συστήματος πυρήνες-ηλεκτρόνια γίνεται μικρότερη από την περίπτωση που τα άτομα ήταν αρκετά μακριά. Έτσι οι ίδιες πάλι αρχές, η αρχή της αβεβαιότητας και η αρχή της ελάχιστης ενέργειας συνεργάζονται ώστε να δημιουργηθεί ένα μόριο υδρογόνου. Ένας τέτοιος δεσμός λέγεται ομοιοπολικός δεσμός.

Όπως είπαμε ο δεσμός αυτός οφείλεται στην ανταλλαγή του ζεύγους των ηλεκτρονίων μεταξύ των πυρήνων. Με την ίδια λογική δημιουργούνται και πιο πολύπλοκες δομές μορίων ή και κρυστάλλων όπως τα μέταλλα. Στα μέταλλα υπάρχει μία ομάδα ηλεκτρονίων που ανήκει όχι μόνο σε δύο πυρήνες αλλά διαμοιράζεται σε όλους τους πυρήνες του μετάλλου. Έτσι ένα μέταλλο μπορούμε να το φανταστούμε σαν ένα και μοναδικό μόριο.

## Η Ενέργεια

Το πιο εντυπωσιακό είναι ότι η ίδια λογική της ανταλλαγής σωματιδίων τα οποία λειτουργούν ως κόλλα, επεκτείνεται και πέρα από τη δομή των μορίων ή των κρυστάλλων. Εκτείνεται και στη δημιουργία πολύπλοκων πυρήνων αλλά και στην κατανόηση της λειτουργίας των βασικών αλληλεπιδράσεων. Έτσι στο καθιερωμένο πρότυπο θεωρούμε ότι ο κόσμος μας αποτελείται από δύο ειδών σωματίδια:

- Τα φερμιόνια που αποτελούν τα δομικά υλικά «τούβλα» του κόσμου. Αυτά είναι τα ηλεκτρόνια και τα quark δηλαδή τα συστατικά των πυρήνων.
- Τα μποζόνια που αποτελούν τη «λάσπη» που ενώνει τα τούβλα με την ανταλλαγή μεταξύ των τούβλων. Μποζόνια είναι πχ τα φωτόνια που η ανταλλαγή τους προκαλεί τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις τα gluons που η ανταλλαγή τους προκαλεί τις ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις κλπ. Έτσι πχ δύο ηλεκτρόνια απωθούνται γιατί μεταξύ τους ανταλλάσσονται φωτόνια. Τα φωτόνια αυτά δεν μπορούν ν' ανιχνευτούν έξω από το σύστημα των ηλεκτρονίων που αλληλεπιδρούν και γι αυτό λέγονται virtual δηλαδή εικονικά - δυνητικά.



## Η ενέργεια και η χρονική συμμετρία

### (άλλες αρχές διατήρησης)

Στη φύση τα πάντα κινούνται και μεταβάλλονται. Αυτό είναι μια αλήθεια που οι αρχαίοι Έλληνες και συγκεκριμένα ο Ηράκλειτος μολονότι δεν είχαν τις γνώσεις που έχουμε σήμερα, το είχαν αντιληφθεί, διατυπώνοντάς το σαν "τα πάντα ρεί", ή το ισοδύναμο ότι "δεν μπορούμε ποτέ να περάσουμε από το ίδιο ποτάμι". Σήμερα γι' αυτή την αλήθεια είμαστε ακόμη πιο βέβαιοι αφού έχουμε ανακαλύψει φαινόμενα που ήταν άγνωστα πριν από 100 ή 200 χρόνια. Παραδείγματος χάριν σήμερα γνωρίζουμε ότι ακόμη και τα βουνά που οι αρχαίοι τα θεωρούσαν τα πιο σταθερά πράγματα της φύσης μετακινούνται μαζί με τις λιθοσφαιρικές πλάκες πάνω στις οποίες βρίσκονται. Γνωρίζουμε ακόμη ότι η ύλη που φαίνεται σε μας ακίνητη, όπως ένας τοίχος, κινείται τόσο μακροσκοπικά αφού κινείται και ολόκληρη η γη πάνω στην οποία ανήκει, όσο και μικροσκοπικά αφού αποτελείται από στοιχειώδη σωματίδια, τα οποία με τη σειρά τους βρίσκονται σε διαρκή κίνηση. Κίνηση σημαίνει μεταβολή της θέσης του σώματος στο χώρο και στο χρόνο. Ακόμη όμως και για ένα ακίνητο σώμα, σε σχέση με κάποιο άλλο, έχουμε τη μεταβολή του χρόνου που χαρακτηρίζει το σώμα. Έτσι φθάνουμε στο συμπέρασμα ότι στη φύση τα πάντα μεταβάλλονται.

Μέσα σ' αυτό το χάος των μεταβολών που συμβαίνουν στη φύση, το να βρίσκουμε κάποια μεγέθη τα οποία παραμένουν σταθερά, έστω και κάτω από ειδικές συνθήκες, είναι μια πρόοδος και μια γνώση. Στη φυσική η ανακάλυψη της σταθερότητας ενός μεγέθους ονομάζεται αρχή διατήρησης αυτού του μεγέθους. Τέτοια μεγέθη ξέρουμε πολλά. Έτσι έχουμε για παράδειγμα.:

- Την αρχή διατήρησης της ορμής.
- Την αρχή διατήρησης της στροφορμής.
- Την αρχή διατήρησης της μάζας.
- Την αρχή διατήρησης του φορτίου.
- Την αρχή διατήρησης της ενέργειας.
- Την αρχή διατήρησης του λεπτονικού η βαρυονικού αριθμού.
- Την αρχή διατήρησης της χάρης της παραδοξότητας. Της πάριτυ κτλ.

#### Μια αρχή διατήρησης σημαίνει τρία πράγματα. ( Θεώρημα Noether )

1. Σημαίνει την ύπαρξη ενός φυσικού μεγέθους που δεν μπορούμε να μετρήσουμε με οποιαδήποτε φυσική διαδικασία. Π.χ η αρχή διατήρησης της ορμής σημαίνει ότι δεν μπορούμε με κανένα τρόπο να μετρήσουμε τις απόλυτες συντεταγμένες ενός σώματος. Δηλαδή αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει απόλυτο σύστημα αναφοράς στο χώρο που ζούμε, αφού δεν μπορούμε να βρούμε κάποιο σώμα το οποίο είναι πραγματικά ακίνητο. Ή για να ήμαστε πιο ακριβείς σημαίνει ότι οι εξισώσεις μας που παρουσιάζουν μια τέτοια συμμετρία είναι ανίκανες να χρησιμοποιηθούν για να βρούμε το απόλυτο (ακίνητο) όπως λέμε σύστημα αναφοράς. Ακίνητο ως προς ποιο; Έτσι ακίνητο θεωρούμε αυθαίρετα κάποιο σώμα. Δεν υπάρχει το απόλυτο σύστημα αναφοράς τόσο ως προς το χώρο όσο και ως προς το χρόνο. Δεν μπορούμε δηλαδή να ορίσουμε τον απόλυτο χρόνο. Πάντα μετράμε χρονικά διαστήματα. Αυτό το γεγονός οδηγεί στην αρχή διατήρησης της ενέργειας όπως θα εξηγήσουμε παρακάτω.
2. Σημαίνει ότι η δυναμική εξίσωση που περιγράφει κάποιο φαινόμενο παραμένει αναλλοίωτη ως προς κάποιο μαθηματικό μετασχηματισμό. Έτσι για την αρχή διατήρησης της ορμής έχουμε ότι οι εξισώσεις του Νεύτωνα παραμένουν αναλλοίωτες ως προς το μετασχηματισμό  $x' \rightarrow x + \Delta x$
3. Σημαίνει τέλος ότι υπάρχει ένα φυσικό μέγεθος που παραμένει σταθερό ανεξάρτητα από τις αλλαγές που μπορεί να πάθει το σύστημα.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας οφείλεται στην συμμετρία των φυσικών νόμων κατά την χρονική μεταφορά. Δηλαδή οι εξισώσεις μας παραμένουν αναλλοίωτες ως προς τον μετασχηματισμό  $t' \rightarrow t + \tau$ . Με ποιο απλά λόγια η αρχή διατήρησης της ενέργειας βασίζεται στο γεγονός ότι οι φυσικοί νόμοι έχουν την ίδια ακριβώς μορφή που είχαν και στο παρελθόν. Και όταν λέμε παρελθόν, εννοούμε τουλάχιστον 3 λεπτά μετά την μεγάλη έκρηξη, δηλαδή 15 δις χρόνια πριν. Πριν από τα τρία λεπτά και ειδικά στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου

## Η Ενέργεια

της μεγάλης έκρηξης, η σύγχρονες θεωρίες της φυσικής μας λένε ότι οι φυσικοί νόμοι δεν είχαν την ίδια μορφή που έχουν και σήμερα. Άρα η αρχή διατήρησης της ενέργειας δεν ίσχυε τότε. Έτσι το ερώτημα που βρέθηκε η ενέργεια που υπάρχει σήμερα ( άρα και η ύλη αφού είναι και αυτή μια μορφή ενέργειας) ίσως να μην έχει νόημα.

Η αρχή της αβεβαιότητας όπως προαναφέραμε, μας λέει ότι η ΑΔΕ δεν ισχύει για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Άρα η ομοιομορφία του χρόνου η οποία οδηγεί στην ΑΔΕ δεν ισχύει για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η δομή του χωροχρόνου ίσως να μοιάζει με τυρί γεμάτο πολύ μικρές τρύπες. Αν το δούμε από μακριά οι τρύπες δεν φαίνονται και έτσι η επιφάνεια του τυριού φαίνεται λεία. Αν όμως το δούμε από κοντά, τότε αναδεικνύονται οι ανωμαλίες της επιφάνειας. Ακόμη βέβαια δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως μια θεωρία που να συνδυάζει τη κβαντομηχανική με τη γεωμετρία του χώρου όπως συμβαίνει στη γενική θεωρία της σχετικότητας. Η θεωρία των υπερχορδών ή μεμβρανών επιχειρεί κάτι τέτοιο, αλλά δεν έχει οδηγήσει ακόμη σε κάποια συμπεράσματα τα οποία να μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά και έτσι δεν είναι ακόμη μια πλήρως αποδεκτή θεωρία.

## ΟΙ 10 ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ.....

### 1) Οι ανάγκες της ανθρωπότητας για ενέργεια συνεχώς αυξάνονται:

Η ανθρωπότητα δεν έχει ανάγκη από ενέργεια. Η ενέργεια είναι άχρηστη για τον άνθρωπο. Χρήσιμες είναι οι ενεργειακές μετατροπές που μέσω αυτών παράγεται έργο ή θερμότητα ή ακτινοβολία κλπ. Με τη βοήθεια του έργου παράγονται αλλά και μετακινούνται όλα τα καταναλωτικά αγαθά. Με τη θερμότητα μπορούμε και αλλάζουμε το μικροκλίμα. Με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορούμε και επικοινωνούμε.

### 2) Τα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη συνεχώς ελαττώνονται

Για να είμαστε πιο ακριβείς, τα αποθέματα υδρογονανθράκων ελαττώνονται. Η ενέργεια συνολικά παραμένει σταθερή αφού ισχύει η Α.Δ.Ε

### 3) Η θετική ενέργεια συμβάλλει στην καλή υγεία του ανθρώπου

Η ενέργεια δεν έχει σχέση με την υγεία του ανθρώπου. Δεν υπάρχει θετική και αρνητική ενέργεια με την έννοια που προσδίδεται από διάφορους όσον αφορά τη ψυχική διάθεση τη θεραπεία κλπ.

### 4) Η ενέργεια δεν μπορεί να μετρηθεί

Σαφώς και μπορεί να μετρηθεί όπως και κάθε φυσικό μέγεθος. Αν κάτι δεν μπορεί να μετρηθεί τότε δεν είναι αντικείμενο της επιστήμης. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις δεν μας ενδιαφέρει η μέτρησή της ενέργειας όπως δεν μας ενδιαφέρει η μέτρηση των κόκκων άμμου μίας παραλίας χωρίς αυτό να σημαίνει αδυναμία μέτρησης κόκκων γενικότερα.

### 5) Με τα κύματα μεταφέρεται ενέργεια αλλά όχι ύλη

Η ενέργεια δεν νοείται εκτός της ύλης. Όλα τα στοιχειώδη σωματίδια έχουν ενέργεια. Δεν υπάρχει ύλη χωρίς ενέργεια. Υπάρχει όμως ενέργεια χωρίς ύλη ή πιο σωστά χωρίς μάζα. Αν ως μάζα αναφερόμαστε αποκλειστικά στη μάζα ηρεμίας, τα φωτόνια και τα γκλουόνια δεν έχουν μάζα.

### 6) Η πυρηνική ενέργεια οφείλεται στην μετατροπή της ύλης σε ενέργεια όπως προκύπτει από τη γνωστή σχέση $E = mc^2$

Η πυρηνική ενέργεια οφείλεται στη μεγάλη δυναμική και κινητική ενέργεια των συστατικών του πυρήνα λόγω των ισχυρών πυρηνικών αλληλεπιδράσεων καθώς και στη μεγάλη κινητική ενέργεια λόγω της αρχής της αβεβαιότητας.

### 7) Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μολύνουν λιγότερο το περιβάλλον από ότι τα συμβατικά

Αν οι μπαταρίες που χρησιμοποιούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γεμίζουν με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με την καύση υδρογονανθράκων, τότε μολύνουν περισσότερο το περιβάλλον αφού για την κίνηση του οχήματος έχουμε περισσότερες ενεργειακές μετατροπές από ότι αν καίγαμε κατευθείαν τον υδρογονάνθρακα στο αυτοκίνητο από ότι να τον καίμε στο εργοστάσιο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

**8) Για να έχουμε περισσότερα αγαθά πρέπει να καταναλώνουμε και περισσότερη ενέργεια**

Μπορούμε να παράγουμε τα ίδια ή και περισσότερα αγαθά με λιγότερες ενεργειακές μετατροπές. Είναι θέμα τεχνολογίας. Γι αυτό η οικονομία ενέργειας ( με την έννοια των λιγότερων ενεργειακών μετατροπών ) είναι ίσως η πιο σημαντική «πηγή» ενέργειας. Μία σύγχρονη TV καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από ότι μία παλαιότερη. Το ίδιο και ένας λαμπτήρας LED σε σύγκριση με έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως.

**9) Λόγω της ενέργειας κινούνται τα πάντα**

Η ευθύγραμμη ομαλή κίνηση δεν απαιτεί ενέργεια. Αλλά και η κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο γίνεται χωρίς την μετατροπή ενέργειας. Η κίνηση των ηλεκτρονίων στο άτομο ή των νουκλεονίων στον πυρήνα δεν απαιτεί ενεργειακές μετατροπές.

**10) Μπορούμε να αντλήσουμε ενέργεια από το νερό**

Αυτό είναι ένας μύθος. Το νερό έχει λιγότερη ενέργεια από ότι το υδρογόνο και το οξυγόνο που το αποτελούν. Γι αυτό για να πάρουμε υδρογόνο από το νερό πρέπει να δαπανήσουμε ενέργεια. Αντιθέτως αν ενωθεί το υδρογόνο με το οξυγόνο η αντίδραση είναι εξώθερμη. Με όποιος τρόπο και να ενώσουμε μία ποσότητα υδρογόνου με το οξυγόνο ώστε να πάρουμε νερό, η ποσότητα ενέργειας που παράγεται είναι πάντα η ίδια.



[Μία ομιλία σχετική με την ενέργεια στο youtube](#)

[Μία συζήτηση σχετική με την ενέργεια](#)