

Η συγκρότηση της έννοιας του «έργου»

και οι μηχανικοί

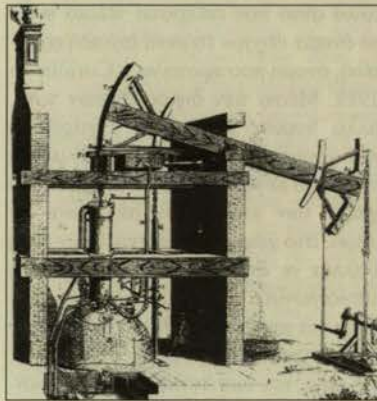
1. Εισαγωγή.

Το κείμενο αυτό παρουσιάζει συνοπτικά, κάποια σημεία ενός ερευνητικού προγράμματος που γίνεται στον τομέα ΑΚΕΔ του τμήματος ΤΕΜΦΕ (σε συνεργασία και με το τμήμα ΜΙΘΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών), σχετικά με τη συγκρότηση της έννοιας του «έργου», κατά το 18ο και τις αρχές του 19ου αιώνα, καθώς και την ένταξή της στη θεωρία της Φυσικής. Τα ερωτήματα που θα εξετάσουμε εδώ, σε σχέση μ' αυτό, είναι δύο: πότε και πώς συγκροτείται ένα φυσικό μέγεθος ως αυτόνομη οντότητα και αν είναι αρκετή η συστηματική χρήση μιας μαθηματικής παράστασης σε υπολογισμούς (θεωρητικούς ή πρακτικούς), για να την καθιερώσει ως φυσικό μέγεθος, ενταγμένο μέσα στη φυσική θεωρία. Στην περίπτωση του «έργου», εντύπωση προξενεί το γεγονός ότι, το γινόμενο «βάρος επί ύψος» (ή γενικότερα «δύναμη επί μετατόπιση»), υπάρχει μαθηματικά για περίπου έναν αιώνα, πριν αποκτήσει ξεχωριστή οντότητα με όνομα και μονάδες και θεωρηθεί αυτόνομο φυσικό μέγεθος. Γιατί; Τι χρειάστηκε επιπλέον αυτή η μαθηματική παράσταση για να γίνει φυσικό μέγεθος; Τι χρειάστηκε για να ενταχθεί στη θεωρία της Φυσικής;

2. Η θεωρητική μηχανική και το γινόμενο βάρος επί ύψος.

Στη Θεωρητική Μηχανική (ή Ορθολογιστική Μηχανική, όπως απεκλήθη τον 18ο αιώνα), το γινόμενο βάρος επί ύψος, ή γενικότερα η (νευτώνεια) δύναμη επί τη μετατόπιση, εμφανίζεται μέσα στα πλαίσια δύο διαφορετικών δραστηριοτήτων: στις εφαρμογές της αρχής των οιοει (virtual) ταχυτήτων στη Στατική και στη διαμάχη για τη «δύναμη» των κινούμενων σωμάτων στη Δυναμική. Σύμφωνα με την αρχή των οιοει ταχυτήτων (που είναι παρόμοια με τη σημερινή αρχή των δυνατών έργων), ένα σύστημα σωμάτων ισορροπεί όταν η κινήσήρα

(νευτώνεια) δύναμη επί την οιοει ταχύτητα (ή τη μετατόπιση), που αυτή μπορεί να προκαλέσει, είναι ίση με την αντίσταση επί την αντίστοιχη οιοει ταχύτητα (ή μετατόπιση). Μέσα στα πλαίσια της διαμάχης για τη «δύναμη» των κινούμενων σωμάτων (που είναι



γνωστή και ως διαμάχη για τη vis viva), πολλοί ερευνητές (Leibniz, Johann Bernoulli, 's Gravesande, κ.λπ.) χρησιμοποιούν το γινόμενο βάρος επί ύψος (ή δύναμη επί μετατόπιση) για να υπολογίσουν τη «δύναμη» αυτή και να αποδείξουν ότι είναι ίση με τη «ζωντανή δύναμη» (vis viva), δηλαδή με το γινόμενο της μάζας του σώματος επί το τετράγωνο της ταχύτητάς του.

Τα γινόμενα αυτά, τόσο στη μια περίπτωση (οιοει ταχυτήτες) όσο και στην άλλη (vis viva), δεν ξεπερνούν ποτέ το επίπεδο μιας απλής υπολογιστικής τεχνικής: ποτέ δεν αποκτούν ξεχωριστή οντότητα με όνομα και μονάδες: ποτέ δεν φθάνουν το στάτους ενός αυτόνομου φυσικού μεγέθους. Με παρόμοιο τρόπο χειρίζονται τα γινόμενα αυτά, ή μάλλον τα ολοκληρώματα $\int \mathbf{f} \cdot d\mathbf{x}$, όπου \mathbf{f} είναι η «πίεση» (αντίστοιχη με τη σημερινή δύναμη) και \mathbf{x} η μετατόπιση, και οι μεγάλοι μαθηματικοί του 18ου αιώνα όπως ο Euler, ο Lagrange κ.α.,

Γιατί συμβαίνει έτσι; Φαίνεται ότι η

Θεωρητική Μηχανική δεν χρειάζεται ένα μέγεθος, όπως το «έργο», για να κάνει τη δουλειά της. Ακόμα και η vis viva ($m \cdot v^2$), έχει σ' αυτήν μόνο περιθωριακές εφαρμογές (όπως ελαστικές κρούσεις). Μόνο η θεωρητική μελέτη των μηχανών και η αναπτυσσόμενη από τα μέσα του 19ου αιώνα Φυσική της Ενέργειας, κάνει αναγκαίο ένα τέτοιο μέγεθος.

3. Ατμομηχανές και πρακτικοί μηχανικοί στην Αγγλία του 18ου αιώνα.

Στην Αγγλία του 18ου αιώνα, οι ατμομηχανές κατασκευάζονται αρχικά, για να κινούν τις υδραντλίες που στραγγίζουν τα ορυχεία. Μέχρι την εισαγωγή της περιστροφικής μηχανής στα τέλη του αιώνα, οι μηχανικοί βλέπουν την ατμομηχανή, κυρίως, ως μια ισχυρή αντλία, της οποίας μπορούν να μετρήσουν την «ισχύ» (power) ή το «καθήκον» (duty) από την ποσότητα του νερού που μπορεί να σηκώσει σε ορισμένο ύψος (και σε δεδομένο χρόνο). Ακόμη και όταν η ατμομηχανή χρησιμοποιείται για να κινήσει άλλες μηχανές (αλευρόμυλους, πριονιστήρια κ.λπ.), αυτό αρχικά γίνεται μέσω της άντλησης νερού. Η ατμομηχανή ανεβάζει το νερό σε δεξαμενή και αυτό, στη συνέχεια, μέσω υδροτροχοῦ, κινεί τα μηχανήματα. Σ' όλες τις περιπτώσεις, το γινόμενο του βάρους του νερού που αντλεί η μηχανή επί το ύψος από του, θεωρείται ότι δίδει το μέτρο της εργασίας που κάνει η μηχανή σε «rounds, σηκωμένα κατά ένα πόδι ψηλά» ή foot-pounds.

Προς το τέλος του αιώνα, λόγω της βιομηχανικής επανάστασης, η εκρηκτική ανάπτυξη των κλωστοϋφανικών μηχανών, που οδηγεί στην εξάντληση όλων των υδροκινητικών δυνατοτήτων στην αγγλική ύπαιθρο, καθώς και η εφεύρεση της περιστροφικής ατμομηχανής, ωθεί στην απ' ευθείας σύνδεση της ατμομηχανής με τα μηχανήματα. Στις περιπτώσεις αυτές, η εργασία της μηχανής δεν μπορεί να μετρηθεί απ'

του
Νίκου Κανδεράκη
Φυσικού
Υ.Δ. ΕΜΠ /
Ε.Κ.Π.Α.

ευθείας σε foot-ounds όπως στις αντλίες. Συχνά όμως, η ατμομηχανή αντικαθιστά άλογα, οπότε, εντελώς φυσιολογικά, η «δύναμη» της μηχανής μετριέται με τον αριθμό των αλόγων που αντικαθιστά ή σε horsepower. Το τι αντιπροσωπεύει ένα horsepower, εκτιμάται «με το μάτι» και διαφέρει από μηχανικό σε μηχανικό. Η τεράστια επιτυχία της περιστοφοϊκής ατμομηχανής από τους Boulton και Watt, καθιερώνει τελικά την τιμή που δίνει ο Watt, δηλαδή 33000 pounds σηκωμένα κατά ένα πόδι μέσα σε ένα λεπτό.

Και στην Πρακτική Μηχανική, όμως, όπως και στη Θεωρητική Μηχανική, το γινόμενο του βάρους επί του ύψους, παραμένει πάντα μια απλή υπολογιστική τεχνική. Παρ' όλο που εδώ έχει όνομα και μονάδες, δεν αποκτά ποτέ ξεχωριστή οντότητα και κυρίως, δεν εντάσσεται μέσα σε μια φυσική θεωρία και δεν αποκτά διασυνδέσεις με άλλα φυσικά μεγέθη. Δηλαδή, παρ' όλο που αποκτά κάποιο εμπειρικό νόημα, δεν έχει συστηματικό νόημα.

4. Οι μηχανικοί στη Γαλλία.

Οι ανάγκες του γαλλικού κράτους και κυρίως του στρατού, σε τεχνικά εκπαιδευμένους λειτουργούς, οδήγησε τον 18ο αιώνα, στην ίδρυση μιας σειράς ανώτερων τεχνικών (κυρίως στρατιωτικών) σχολών, όπως της Ecole du Genie a Mezieres, της Ecole des Ponts et Chausees, της Ecole de Mines κ.λπ., στο πρόγραμμα των οποίων τα μαθηματικά και η νέα επιστήμη έχουν κεντρική θέση. Αυτό έχει ως συνέπεια, την παραγωγή μηχανικών με γερή θεωρητική κατάρτιση, που προσπαθούν να ορθολογικοποιήσουν το ανακείμενο της δουλειάς τους, χρησιμοποιώντας τα μαθηματικά και την ορθολογιστική μηχανική (που θεωρείται κλάδος των μαθηματικών). Μέσα στα πλαίσια αυτά, οι μηχανικοί προσπαθούν να μετρήσουν την εργασία ενός ανθρώ-

που (ή ενός αλόγου) και να προσδιορίσουν ένα ακριβές μέτρο για τη «δύναμη» ή το «αποτέλεσμα» (effet στα γαλλικά) των μηχανών.

Τέτοιες προσπάθειες θα κάνουν οι Coulomb, Lazare Carnot, Hachette, Navier, Coriolis, Poncelet κ.ά. Το μέτρο που προτείνουν και για τις δύο αυτές δουλειές, το βρίσκουν έτοιμο από τους άγγλους μηχανικούς και δεν είναι άλλο από το γινόμενο του βάρους επί του ύψους ή της δύναμης επί τη μετατόπιση. Στο μέγεθος αυτό, που αρκεί το συνδέουν και με τις μεταβολές της vis viva, δίνουν διάφορα ονόματα, αλλά αυτό που επικρατεί τελικά είναι το όνομα «έργο» (travail δηλαδή εργασία), όνομα που προτείνει ο Coriolis το 1919. Μέσω των δημοσιεύσεών τους, αλλά κυρίως μέσω των εγχειριδίων που γράφουν για τις σχολές των μηχανικών, το μέγεθος αυτό θα περάσει στο χώρο των μηχανικών αλλά και εν μέρει, στο χώρο των επιστημόνων (στη Γαλλία οι δύο χώροι βρίσκονται σε επικοινωνία). Επίσης, μέσω εγχειριδίων για μηχανικούς, θα περάσει στην κουλτούρα των άγγλων μηχανικών, όχι όμως και των άγγλων επιστημόνων.

5. Το κοινό μέτρο των «φυσικών δυνάμεων» και η φυσική της ενέργειας.

Στο πρώτο μισό του 19ου αιώνα, ανακαλύπτεται μια σειρά από φαινόμενα που συνδέουν περιοχές της επιστήμης, που μέχρι τότε θεωρούνταν ανεξάρτητες, όπως ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός, η μηχανική, η χημεία κ.λπ. Ανακαλύπτεται π.χ. ότι μια ηλεκτρική στήλη Volta (μέσω χημικών αντιδράσεων), παράγει ηλεκτρικό ρεύμα που με τη σειρά του προκαλεί άλλες χημικές αντιδράσεις (με ηλεκτρόλυση), ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητισμό και αντίστροφα, η κίνηση του μαγνήτη παράγει ηλεκτρικό ρεύμα κ.ά. Εξ άλλου, η δυνατότητα της «φωτιάς»

(θερμότητας) να παράγει κίνηση και αντίστροφα, της κίνησης να παράγει θερμότητα, είναι γνωστή από το 18ο αιώνα.

Τα φαινόμενα αυτά εξηγούνται από πολλούς με μια ασαφή θεωρία περί αλληλομετατροπής των «φυσικών δυνάμεων», ενώ αρκετοί υποστηρίζουν την ενότητα όλων αυτών των «δυνάμεων». Για να πάρει η θεωρία αυτή ποσοτική και συγκροτημένη μορφή, αναζητείται ένα κοινό μέτρο, για να μετρηθούν οι «φυσικές δυνάμεις». Το μέτρο αυτό, αρκετοί ερευνητές (όπως π.χ. ο Joule, ο Sadi Carnot κ.α.) που έχουν επαφή με το χώρο των μηχανικών, το βρίσκουν στο φυσικό μέγεθος «έργο» (αν και χρησιμοποιούν διαφορετικά ονόματα γ' αυτό, όπως π.χ. «μηχανική δύναμη»). Η διαδικασία αυτή, οδηγεί στη «ανακάλυψη» της διατήρησης της «δύναμης» (σημερινής ενέργειας) και στη Φυσική της Ενέργειας, που συνδέει όλους τους ανεξάρτητους, μέχρι τότε, κλάδους της Φυσικής, σ' ένα ενιαίο σύνολο και όπου η έννοια του «έργου», παίζει ένα κεντρικό-συνδυακό ρόλο.

6. Συμπέρασμα.

Φαίνεται ότι η συστηματική μαθηματική χρήση μιας αλγεβρικής παράστασης, ακόμα και όταν αυτή γίνεται για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως συμβαίνει στο γινόμενο βάρους επί ύψους, δεν αρκεί για να της προσδώσει το στάτους ενός φυσικού μεγέθους. Φαίνεται ότι χρειάζεται η παράσταση αυτή να αποκτήσει και κάποιο εμπειρικό νόημα, όπως αυτό που προσδίδουν στο γινόμενο βάρους επί ύψους οι μηχανικοί, καθώς και να ενταχθεί μέσα σε μια φυσική θεωρία, όπου θα παίζει κάποιο (σημαντικό) ρόλο, αποκτώντας διασυνδέσεις και με άλλες έννοιες, δηλαδή συστηματικό νόημα, όπως συμβαίνει με το μέγεθος του «έργου» μέσα στην Φυσική της Ενέργειας.