ΗΡΩΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ

ΒΑΡΟΥΛΚΟΣ – ΒΙΒΛΙΟ 2ο

(Απλές Μηχανές)

Ελληνικό -Αραβικό κείμενο

Μετάφραση Παύλος Μίχας

ترجمه بالفلوس ميخاس

\\

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΤΟΜΟΥ

I. — 1. Οι απλές μηχανές με τις οποίες μετακινείται ένα δεδομένο βάρος με δεδομένη δύναμη είναι πέντε στον αριθμό˙ είναι απαραίτητο να αναφερθούν ποιες είναι οι μορφές τους, οι τρόποι χρήσης τους και τα ονόματά τους. Αυτά τα μηχανήματα βασίζονται σε μια μοναδική φυσική αρχή, αν και είναι πολύ διαφορετικά στην εμφάνιση. Εδώ είναι τα ονόματά τους: το βαρούλκο, ο μοχλός, η τροχαλία, η σφήνα και ο κοχλίας.

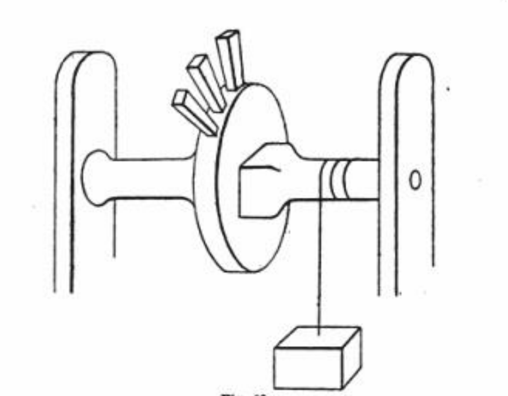


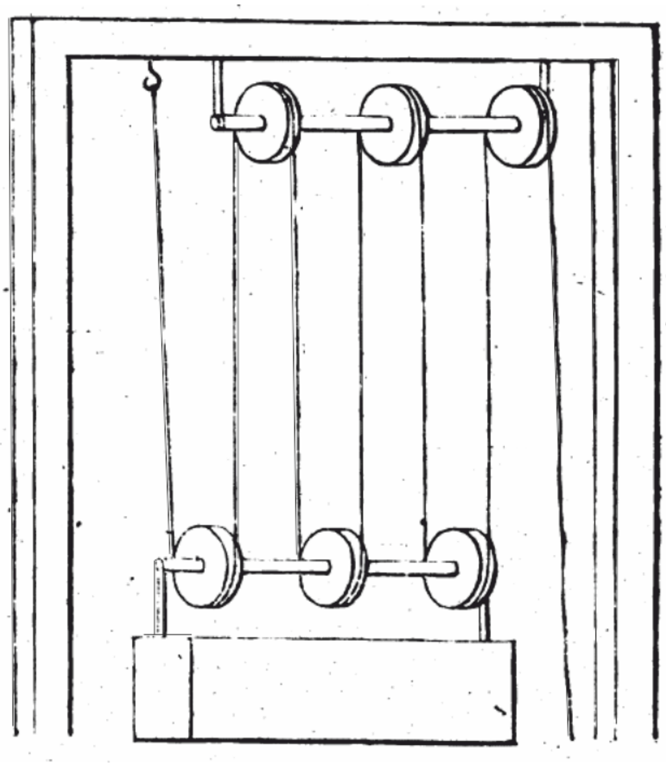
Fig. 22.

Το βαρούλκο είναι κατασκευασμένο με εξής τρόπο: παίρνουν ένα τετράγωνο κομμάτι σκληρού ξύλου σε σχήμα δοκού˙ πλανίζουν και στρογγυλεύουν τις άκρες και τους τοποθετούν χάλκινους δακτυλίους, φτιαγμένο με προσοχή και σκοπό να καταστήσει μην υπάρχει τραχύτητα στον άξονα. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε ένα από αυτά τα άκρα δημιουργείται σε μια στρογγυλεμένη οπή που καλύπτεται με χαλκό σε ένα συμπαγές και σταθερό τοίχωμα, γυρίζει μέσα σε αυτό με ευκολία. Το κομμάτι ξύλου που δουλεύεται έτσι ονομάζεται άξονας. Ένας συμπαγής τροχός που τρυπιέται με μια τετράγωνη οπή του ίδιου τμήματος με τον άξονα τοποθετείται στη συνέχεια στη μέση του άξονα˙ ρυθμίζεται καλά έτσι ώστε το τύμπανο και ο άξονας που είναι τοποθετημένοι το ένα πάνω στο άλλο να γυρίζουν μαζί. Αυτός τροχός ονομάζεται περιτρόχιο που σημαίνει: αυτό «αυτό που περιβάλλει τροχό». Όταν αυτή η κατασκευή ολοκληρώνεται, χωρίζουμε στον άξονα, σε κάθε πλευρά του τυμπάνου, ένα πλανισμένο αυλάκι, γύρω από το οποίο θα τυλιχτεί το κορδόνι. Στη συνέχεια τρυπάμε στην εξωτερική περιφέρεια του τυμπάνου (τροχού), οπές όσες χρειαζόμαστε, και τις τρυπούμε με ακρίβεια έτσι ώστε, όταν έχουμε βάλει ξύλινα καρφιά, να μπορούμε να γυρίσουμε με αυτά τα καρφιά το τύμπανο και τον άξονα. Μόλις εξηγήσαμε πώς πρέπει να κατασκευάσουμε τον άξονα˙ θα εξηγήσουμε τώρα πώς δουλεύει κανείς με αυτό. Αν κάποιος θέλει να μετακινήσει ένα μεγάλο φορτίο με μικρή δύναμη, στερεώνει τα σχοινιά που είναι δεμένα στο φορτίο στη θέση που έχει αυλακώσεις και στις δύο πλευρές του τροχού. Στη συνέχεια, βάζει κανείς ακτίνες στις τρύπες που έχουν τρυπηθεί στον τροχό και πιέζει τις ακτίνες προς τα κάτω, έτσι ώστε ο τροχός να περιστρέφεται και το φορτίο να μετακινείται από τη μικρή δύναμη και τα σχοινιά τυλίγονται γύρω από τον άξονα ή τα στοιβάζουμε το ένα πάνω στο άλλο για να μην τυλίξουν σε όλο τον άξονα. Το μέγεθος αυτού του μηχανήματος πρέπει να ρυθμιστεί ανάλογα με το μέγεθος του φορτίου που θέλει κανείς να μετακινήσει μαζί του. Ο υπολογισμός του πρέπει να γίνει σύμφωνα με την αναλογία του φορτίου που θέλει να κινηθεί κάποιος προς τη δύναμη που προορίζεται να το μετακινήσει, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια.

2. Δεύτερη απλή μηχανή. — Η δεύτερη απλή μηχανή είναι αυτή που ονομάζεται μοχλός. Ίσως αυτό το μηχάνημα ήταν το πρώτο που εφευρέθηκε για να κινεί υπέρβαρα σώματα. . Γιατί, αφού το πρώτο πράγμα που χρειαζόταν κάποιος αν ήθελε να μετακινήσει ένα σώμα με υπερβολικό βάρος ήταν να το σηκώσει από το έδαφος ώστε να το μετακινήσει, αλλά δεν υπήρχε κάτι από το οποίο θα μπορούσε να το πιάσει, αφού όλα τα μέρη της βάσης του ήταν ξαπλωμένοι στο έδαφος, οπότε αναγκαστικά σκέφτηκε αυτή τη διαδικασία, έκανε κάτω από το σώμα ένα μικρό λάκκο στο έδαφος, πήρε ένα μακρύ [κομμάτι] ξύλο, έβαλε τη μια άκρη του σε εκείνο το λάκκο και πίεσε την άλλη προς τα κάτω˙ οπότε το φορτίο ανέβηκε. Έπειτα, έβαζε κανείς κάτω από αυτό το ξύλο μια πέτρα, που την ονόμαζε

Υπομόχλιο, δηλ. αυτή που ήταν κάτω από το μοχλό, και την πίεζε πάλι προς τα κάτω, οπότε το φορτίο ανέβηκε ακόμη περισσότερο. Όταν έγινε γνωστή αυτή η δύναμη, κατάλαβε κανείς ότι ήταν δυνατό να μετακινηθούν μεγάλα φορτία με αυτόν τον τρόπο. Αυτό το [κομμάτι] ξύλο ονομάζεται μοχλός, μπορεί να είναι στρογγυλό ή τετράγωνο. Όσο πιο κοντά φέρει κανείς την πέτρα [μπλοκ], που βάζει κάτω από αυτήν, στο φορτίο, τόσο πιο άνετα είναι για την κίνηση, όπως θα δείξουμε στη συνέχεια.

3 Η τρίτη απλή μηχανή. Η τρίτη απλή μηχανή είναι αυτή που ονομάζεται πολύσπαστο. Γιατί αν θέλουμε να σηκώσουμε οποιοδήποτε φορτίο, δένουμε σχοινιά σε αυτό το φορτίο και θέλουμε να τραβήξουμε σφιχτά τα σχοινιά, μέχρι να το σηκώσουμε. Επομένως χρειαζόμαστε δύναμη ίση με το φορτίο που πρόκειται να ανυψωθεί. Αλλά αν αφαιρέσουμε το σχοινί από το φορτίο, δέσουμε το ένα άκρο του σε μια σταθερή εγκάρσια δοκό, βάλουμε το άλλο πάνω από μια τροχαλία που είναι στερεωμένη στη μέση του φορτίου και τραβήξουμε το σχοινί, τότε είναι πιο εύκολο να μετακινήσουμε αυτό το φορτίο . Αν τώρα στερεώσουμε άλλη τροχαλία στη σταθερή εγκάρσια δοκό, βάλουμε από πάνω την άκρη του σχοινιού και την τραβήξουμε, τότε η μετακίνηση του φορτίου μας είναι ακόμα πιο εύκολη. Εάν στερεώσουμε περαιτέρω μια δεύτερη τροχαλία σε αυτό το φορτίο και τραβήξουμε το άκρο του σχοινιού πάνω του, τότε αυτό αυξάνει για εμάς την ευκολία στη μετακίνηση του φορτίου. Με αυτόν τον τρόπο συνεχίζουμε να στερεώνουμε τροχαλίες στη σταθερή εγκάρσια δοκό και στο φορτίο που θέλουμε να σηκώσουμε και να βάζουμε το ένα άκρο του σχοινιού πάνω από την τροχαλία που είναι δεμένη στη σταθερή εγκάρσια δοκό και το φορτίο και αφήνουμε το σχοινί να τρέξει ξανά σε αυτήν και πάλι, τότε μέσω αυτού η ευκολία άρσης αυτού του φορτίου αυξάνεται για εμάς. Όσο πιο πολλές είναι οι τροχαλίες στις οποίες κινείται το σχοινί, τόσο πιο εύκολα μπορεί να ανυψωθεί αυτό το φορτίο. Το ένα άκρο του σχοινιού πρέπει να είναι καλά δεμένο στη σταθερή εγκάρσια δοκό και το σχοινί πρέπει να τρέχει από αυτό προς το φορτίο. Οι τροχαλίες στη σταθερή εγκάρσια δοκό πρέπει να στερεωθούν σε άλλο [κομμάτι] ξύλο και να περιστρέφονται γύρω από τον ίδιο άξονα. Αυτός ο άξονας ονομάζεται Μάγγανο. Το [κομμάτι] ξύλο στερεώνεται στη σταθερή εγκάρσια δοκό μέσω άλλων σχοινιών. Οι τροχαλίες στο φορτίο κάθονται σε έναν άλλο άξονα, ίσο με αυτόν τον πρώτο και στερεωμένες στο φορτίο. Οι τροχαλίες πρέπει να στερεωθούν στον άξονα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορούν να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. γιατί αν μπορούν να έρθουν σε επαφή η περιστροφή εμποδίζεται. Γιατί τώρα η ευκολία στην ανύψωση είναι αυξημένη για εμάς, όταν αυξάνεται ο αριθμός των τροχαλιών και γιατί το ένα άκρο του σχοινιού είναι δεμένο στην εγκάρσια δοκό, θα το εξηγήσουμε αργότερα.

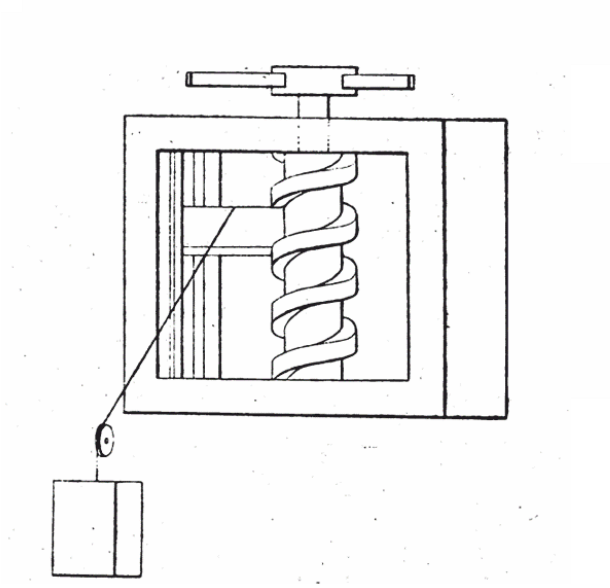


4 Η τέταρτη απλή μηχανή. Η τέταρτη απλή μηχανή, που ακολουθεί την προηγούμενη, είναι αυτή που ονομάζεται σφήνα. Χρησιμοποιείται με κάποια εργαλεία στην παρασκευή αρωμάτων και για να ενώσει ξεχωριστά μέρη των ξυλουργικών έργων. Οι χρήσεις της είναι πολλαπλές. Τη χρησιμοποιούμε πιο συχνά, ωστόσο, όταν σκοπεύουμε να χωρίσουμε το

κατώτερο τμήμα σε πέτρες που θέλουμε να κόψουμε, αφού έχουμε ήδη αποκολλήσει τα πλαϊνά μέρη από τη μάζα από την οποία θέλουμε να τις αποκόψουμε. Σε αυτό καμία από τις άλλες δυνάμεις δεν λειτουργεί, ακόμα κι αν ήταν όλες ενωμένες. Ωστόσο, η σφήνα λειτουργεί σε αυτό από μόνη της. Η επίδρασή της βασίζεται στο χτύπημα που το χτυπάει, όποια και αν είναι η φύση του χτυπήματος, και η επίδρασή της δεν σταματά μετά το τέλος του χτυπήματος. Αυτό είναι ξεκάθαρο˙ γιατί συχνά προκαλεί θόρυβο, χωρίς να χτυπηθεί και ράγισμα αυτού που διασπά με τη δύναμή της. Όσο πιο οξεία είναι η γωνία της σφήνας, τόσο πιο εύκολο είναι να το δουλέψετε, όπως θα δείξουμε.

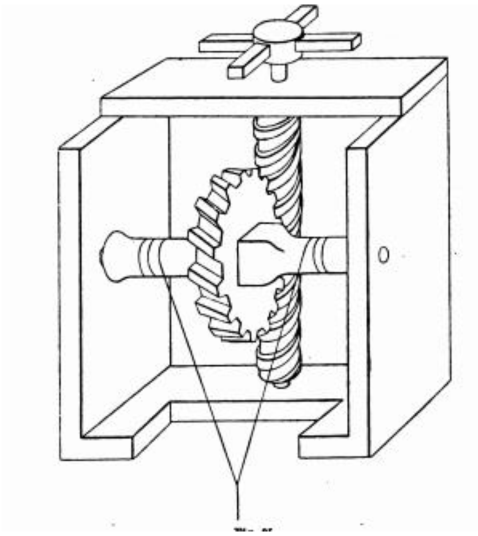
5. *Πέμπτη απλή μηχανή*. — Είναι αυτή που λέγεται κοχλίας (βίδα). Τα όργανα για τα οποία μιλήσαμε βασίζονται σε πολύ σαφείς αρχές και είναι από μόνα τους πλήρη. αυτό παρατηρούμε σε πολλές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται. Ο κοχλίας, αντιθέτως, παρουσιάζει κάποια δυσκολία στην κατασκευή της και στη χρήση της, είτε χρησιμοποιείται μόνη της είτε σχετίζεται με άλλη μηχανή. Δεν είναι, όμως, τίποτε άλλο από μια καμπύλη σφήνα, που δεν δέχεται χτυπήματα, αλλά που ένας μοχλός τη θέτει σε κίνηση. Αυτό που πρόκειται να πούμε θα κάνει προφανή αυτή την πρόταση.

Τώρα λέμε ότι η φύση της γραμμής που περιγράφεται γύρω της είναι η εξής: αν υποθέσει κανείς οποιαδήποτε πλευρά ενός κυλίνδρου που κινείται σε ένα επίπεδο και κατά μήκος αυτής της πλευράς ένα σημείο κινείται πάνω της και διατρέχει πλήρως στον ίδιο χρόνο κατά τον οποίο αυτός ο κύλινδρος κάνει μία περιστροφή, (τότε επιφάνεια του κυλίνδρου και επιστρέφει στο σημείο όπου ξεκίνησε την κίνησή της), τότε η γραμμή που περιγράφει αυτό το σημείο στην επιφάνεια του κυλίνδρου, είναι ένα σπείρωμα του κοχλία, το οποίο ονομάζουμε βήμα του κοχλία. Αν θέλουμε να καταγράψουμε αυτή τη γραμμή στην επιφάνεια ενός κυλίνδρου, προχωράμε ως εξής: αν υποθέσουμε σε ένα επίπεδο δύο γραμμές, εκ των οποίων η μία είναι κάθετη στην άλλη και η μία είναι ίση με την πλευρά του κυλίνδρου, και η άλλη ίση με την περιφέρεια της κυκλικής βάσης του κυλίνδρου, αν συνδέσουμε περαιτέρω τα άκρα των δύο γραμμών τότε αυτή η ευθεία έχει απέναντι της μία ορθή γωνία. Μετά βάζουμε τη γραμμή ίση με την πλευρά του κυλίνδρου στην πλευρά του κυλίνδρου και η γραμμή ίση με τον κύκλο της βάσης του κυλίνδρου σε αυτόν, τότε η πλευρά απέναντι από την ορθή γωνία τυλίγεται στην επιφάνεια του κυλίνδρου και σχηματίζεται ένα σπείρωμα κοχλία. Μπορούμε επίσης να χωρίσουμε την πλευρά του κυλίνδρου σε οποιοδήποτε αριθμό ίσων μερών και να περιγράψουμε ένα βήμα του κοχλία σε καθένα από αυτά, ώστε να σχηματιστούν πολλά σπειρώματα στον κύλινδρο και στον κύλινδρος να σχηματιστεί ο κοχλίας. Η γραμμή που διαγράφηκε καθώς ο κύλινδρος, καθώς τυλίχθηκε η υποτείνουσα, ονομάζεται είναι ο κοχλίας, δηλαδή, η πλευρά του κυλίνδρου περιέχει μόνο μια γραμμή που ξεκινά από το ένα άκρο του και πηγαίνει στο άλλο. Αν τώρα θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τον κοχλία, κόβουμε, ακολουθώντας αυτή τη γραμμή που χαράσσεται στον κύλινδρο, ένα βαθύ αυλάκι, που εισχωρεί στην επιφάνεια του κυλίνδρου μέχρι τώρα, ώστε να εισχωρεί το ξύλο που λέγεται ***Τύλος***. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τον κοχλία με τον εξής τρόπο. Στρογγυλεύουμε και λειαίνουμε τα δύο άκρα του με μια λεία καμπύλη και τα εισάγουμε σε στρογγυλές τρύπες σε σταθερά στηρίγματα, ώστε να μπορεί να περιστραφεί εύκολα σε αυτές τις τρύπες. Μετά στερεώνει κανείς το [κομμάτι] ξύλο που λέγεται ***Κανών*** κάθετα και παράλληλα με τον κύλινδρο του κοχλία. Ας υπάρχει σε αυτόν τον Κανόνα μια αυλάκωση με παράλληλες άκρες σαν κανάλι, που φαίνεται στην πλευρά του ξύλου που βλέπει προς τον κοχλία. Στη συνέχεια βάζουμε τη μία πλευρά του ξύλου που λέγεται Τύλος στο αυλάκι του κοχλία, την άλλη στο αυλάκι του Κανόνα. Εάν τώρα θέλουμε να σηκώσουμε ένα βαρύ φορτίο με αυτό το εργαλείο, παίρνουμε ένα από τα σχοινιά που



λέγεται ***Όπλον***, δένουμε το ένα άκρο του στο φορτίο που θέλουμε να μετακινήσουμε, το άλλο στο [κομμάτι] ξύλο που ονομάζεται Τύλος, αφού έχουμε τρύπησε το άκρο του κοχλία με οπές αντίθετες μεταξύ τους. Τώρα εισάγουμε ακτίνες σε αυτές τις τρύπες και μαζί τους γυρίζουμε τον κοχλία, μετά ο τύλος ανεβαίνει λόγω της κίνησής του στο αυλάκι, δηλαδή στον κοχλία, και ταυτόχρονα το σχοινί ανεβαίνει, σηκώνοντας το φορτίο που στερεώνεται σε αυτό. Αντί για ακτίνες μπορούμε να στερεώσουμε στο άκρο του κοχλία που βρίσκεται έξω από το σταθερό στήριγμα ένα τετράγωνο εφοδιασμένο με λαβές, με τη βοήθεια του οποίου γυρίζουμε τον κοχλία και το φορτίο ανεβαίνει. Η ελικοειδής αύλακα του κοχλία, που βρίσκεται στον κύλινδρο άλλοτε είναι τετραγωνική και άλλοτε φακοειδής. Η τετραγωνική είναι με κάθετες πλευρές , της οποίας η αύλακα τελειώνει σε δύο γραμμές, ενώ στη φακοειδή, των οποίων οι τομές είναι κεκλιμένες, και που καταλήγει σε μόνο μία γραμμή στο τέλος. Αυτός ο κοχλίας είναι ***φακοειδής***, ο άλλος ονομάζεται ***τετραγωνικός***.

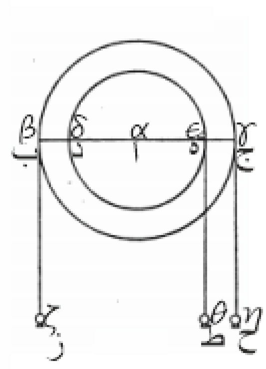
6. Όταν ο κοχλίας χρησιμοποιείται μόνος του, χρησιμοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο. Αλλά όταν χρησιμοποιείται διαφορετικά, που σχετίζεται με ένα άλλο απλό μηχάνημα, δηλαδή αυτό που αποτελείται από έναν άξονα που φέρει ένα τύμπανο, αυτό γίνεται. Φανταστείτε ότι το τύμπανο που είναι τοποθετημένο στον άξονα έχει ξύλινα δόντια˙ και τοποθετείται ένας κοχλίας σε επαφή με το τύμπανο· που είναι κάθετος στο έδαφος ή παράλληλος προς το επίπεδο της γης. Τα ξύλινα δόντια πλένονται με την ελικοειδή αυλάκωση και τα άκρα του κοχλία βρίσκονται σε δύο στρογγυλεμένες τρύπες που έχουν ανοίξει στα σταθερά στηρίγματα, όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Ένα τμήμα του άκρου του κοχλία βγαίνει έξω από το σταθερό στήριγμα και πάνω του στερεώνουμε έναν ξύλινο βραχίονα εξοπλισμένο με λαβή, εκτός αν ανοίξουμε σε αυτό το τμήμα εξωτερικές τρύπες για να εισαγάγουμε ξύλινα καρφιά που θα χρησιμοποιηθούν για την



περιστροφή του κοχλία . Όταν θέλουμε να σηκώσουμε ένα βάρος με αυτό το όργανο, δένουμε στον άξονα, και στις δύο πλευρές του τυμπάνου, τα σχοινιά δεμένα στο φορτίο. γυρίζουμε τον κοχλία που τον τοποθετήσαμε να εμπλέκει τα ξύλινα δόντια του πλέγματος του τυμπάνου˙ το τύμπανο περιστρέφεται όπως και ο άξονας και το βάρος ανεβαίνει

II. 7. — Ολοκληρώσαμε την εξήγηση της κατασκευής των πέντε απλών μηχανών των οποίων η περιγραφή προηγείται, και εξηγήσαμε τη μέθοδο χρήσης τους. Όσον αφορά την αιτία που κάνει καθένα από αυτά τα όργανα να μετακινεί σημαντικά βάρη με πολύ μικρή ισχύ, θα μιλήσουμε τώρα ως εξής.

Έστω δύο κύκλοι με το ίδιο κέντρο α˙ ας είναι οι διάμετροί τους είναι οι δύο γραμμές βγ, δε˙ αυτοί οι δύο κύκλοι είναι κινητοί γύρω από το σημείο α, που είναι το κοινό τους κέντρο, και είναι κάθετοι στο επίπεδο του ορίζοντα. Ας αναρτήσουμε στα δύο σημεία β, γ δύο ίσα βάρη, που ορίζονται με ζ και η. Είναι προφανές ότι οι κύκλοι δεν γέρνουν προς τη μία ή την άλλη πλευρά, αφού τα δύο βάρη ζ και η είναι ίσα και οι αποστάσεις βα, αγ είναι ίσες. Έστω βγ μια κινητή δοκός που ισορροπεί γύρω από ένα σημείο ανάρτησης που είναι το σημείο α. Εάν μεταφέρουμε στο ε το βάρος που εφαρμόζεται στο γ, το βάρος θα κλίνει το ζ προς τα κάτω, και θα προκαλέσει τη στροφή των κύκλων. Αν όμως αυξήσουμε το βάρος ϑ, θα ισορροπήσει πάλι στο βάρος ζ και ο λόγος του βάρους ϑ προς το βάρος ζ θα είναι ίσος με τον λόγο της απόστασης βα προς την απόσταση αε. Έτσι η ευθεία βε παίζει το ρόλο μιας κινητής δέσμης ισορροπίας γύρω από ένα σημείο ανάρτησης, που είναι το σημείο α.



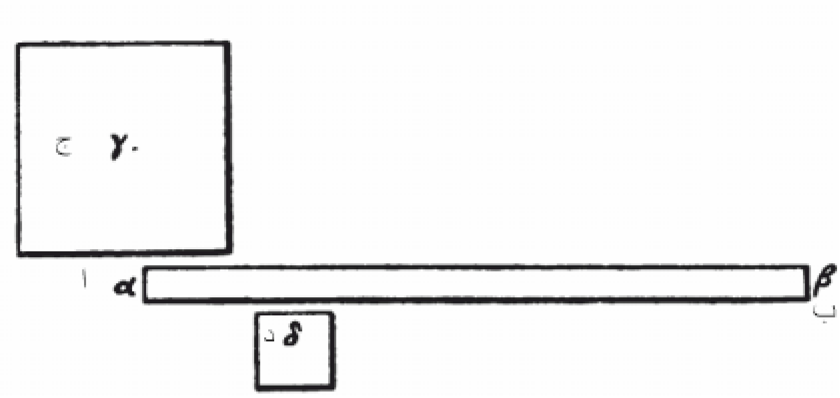
Ο Αρχιμήδης έχει ήδη δώσει αυτή την πρόταση στο βιβλίο του για την ισορροπία μεταξύ βαρών. Είναι προφανές, επομένως, ότι μπορούμε να κινήσουμε ένα πολύ βαρύ σώμα με ασθενή ισχύ, όταν, λαμβάνοντας υπόψη δύο ομόκεντρους κύκλους και ένα μεγάλο βάρος που εφαρμόζεται σε οποιοδήποτε τόξο του μεγάλου κύκλου, ο λόγος της γραμμής που εκτείνεται από το κέντρο του μεγάλου κύκλου προς τη γραμμή που εκτείνεται από το κέντρο του μικρού είναι μεγαλύτερος από τον λόγο του μεγάλου βάρους προς την ασθενή δύναμη που τον κινεί. Η μικρή δύναμη τότε αντισταθμίζει το μεγάλο βάρος.

8. Θα εφαρμόσουμε τώρα στις πέντε απλές μηχανές την επίδειξη που μόλις κάναμε στο παράδειγμα του κύκλου. Μετά από αυτή την ανάλυση, η έκθεσή τους θα έχει αποκτήσει όλη της τη σαφήνεια. Οι αρχαίοι πάντα προηγούνταν με αυτό το λήμμα.

Ας κάνουμε πρώτα την επίδειξη για το όργανο που ονομάζεται μοχλός. Ο μοχλός μετακινεί τα βάρη με δύο τρόπους: είτε ότι είναι τοποθετημένος σε θέση παράλληλη με το έδαφος είτε ότι, με κλίση, υψώνεται πάνω από το έδαφος.

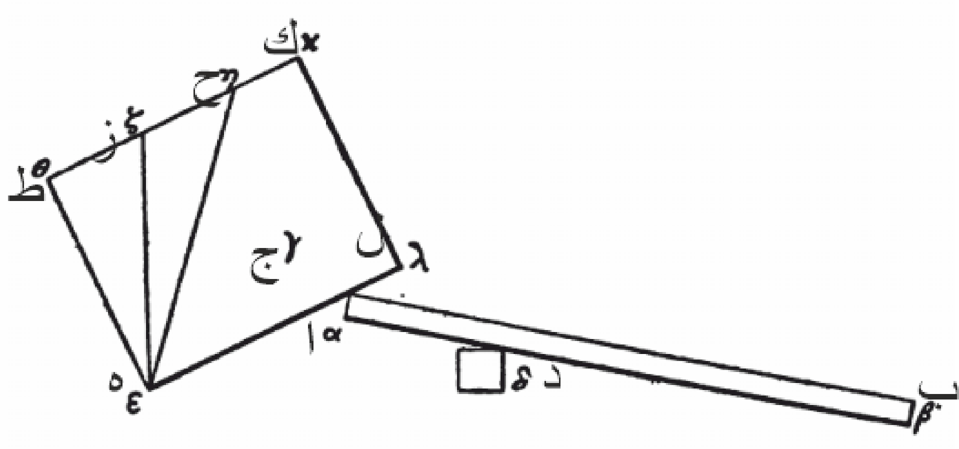
Τίθεται σε δράση πιέζοντας και κατεβάζοντας προς το έδαφος το άκρο που σηκώνεται από πάνω του.

Ας υποθέσουμε ότι πρώτα ο μοχλός είναι παράλληλος με το έδαφος και αντιπροσωπεύεται από την ευθεία αβ. έστω στο σημείο α το βάρος που πρέπει να κινήσει ο μοχλός: αυτό είναι το βάρος γ. Η κινητήρια δύναμη εφαρμόζεται στο σημείο β. Η πέτρα που τοποθετείται κάτω από το μοχλό και πάνω στην οποία γυρίζει βρίσκεται στο σημείο δ. Η απόσταση βδ είναι μεγαλύτερη από το δα. Όταν σηκώνουμε το άκρο β του μοχλού και φέρουμε αυτόν τον βραχίονα του μοχλού προς τα πάνω από την πέτρα στην οποία γυρίζει, το βάρος που είναι σε γ κινείται προς την άλλη κατεύθυνση. Το σημείο β περιγράφει έναν κύκλο γύρω από το κέντρο δ και το σημείο περιγράφει επίσης, γύρω από το ίδιο κέντρο, έναν κύκλο μικρότερο από τον κύκλο που περιγράφεται από το σημείο β. —Αν ο λόγος του βδ προς το δα ήταν ίσος με τον λόγο μεταξύ του βάρους γ και της δύναμης που εφαρμόζεται στο β, το βάρος γ θα εξισορροπούσε τη δύναμη β. Εάν ο λόγος βδ προς δα είναι μεγαλύτερος από το λόγο του βάρους προς τη δύναμη, είναι σαφές ότι η δύναμη υπερτερεί του βάρους, επειδή



έχουμε εδώ δύο ομόκεντρους κύκλους, ότι το βάρος βρίσκεται σε ένα τόξο του μικρού κύκλου και η κινητήρια δύναμη, σε ένα τόξο του μεγάλου. Είναι λοιπόν προφανές ότι το ίδιο πράγμα που συμβαίνει για δύο κύκλους που είναι τοποθετημένοι στο ίδιο κέντρο συμβαίνει και για το μοχλό. Και ο μοχλός που κινεί τα βαριά σώματα λειτουργεί από την ίδια αιτία που δρα στους δύο κύκλους.

9. Ας φανταστούμε πάλι έναν μοχλό που παριστάνεται από την ευθεία *αβ* και κινείται πάνω σε μια πέτρα, η οποία είναι *δ*. Ένα από τα άκρα του μοχλού, με την ένδειξη *α*, τίθεται κάτω από ένα φορτίο *γ*, ενώ το άλλο άκρο, με την ένδειξη *β*, είναι ανυψωμένο πάνω από το έδαφος. Αν κατεβάσουμε το άκρο του μοχλού *β* προς την κατεύθυνση του εδάφους, θέτουμε το βάρος *γ* σε κίνηση.



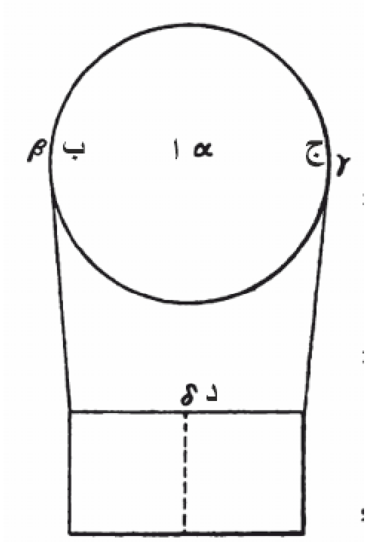
Λέω ότι το βάρος δεν μετακινείται σε αυτήν την περίπτωση με τον ίδιο τρόπο όπως στην πρώτη, γιατί στην παρούσα λειτουργία μόνο ένα μέρος του βάρους μετακινείται και ένα άλλο μέρος παραμένει προσκολλημένο στη γη. Ας φανταστούμε ένα επίπεδο που διέρχεται από το σημείο *ε* και είναι κάθετο στον ορίζοντα, και έστω *εζϑ* το τμήμα του βάρους που χωρίζει. Το *εζη* είναι ένα τμήμα που είναι σε ισορροπία με αυτό. Εάν φανταστούμε ότι το συνολικό βάρος *εηϑ* από το βάρος και αφήνεται στη θέση στην οποία βρίσκεται, δεν θα κλίνει προς τη μία ή την άλλη πλευρά, ούτε προς την πλευρά θ ούτε προς την πλευρά η, λόγω της ισότητας των τα βαρών *εζϑ* και *εζη*. Άρα το τμήμα *εηϑ* του φορτίου δεν χρειάζεται κανένα μέρος της δύναμης για να υψωθεί˙ και ο μοχλός μετακινεί μόνο το τμήμα *εηκλ* του φορτίου. Εάν ο μοχλός μετακινούσε ολόκληρο το βάρος *εϑκλ*, η αναλογία βδ/δα θα ήταν ίση με την αναλογία του βάρους *εϑκλ* προς τη δύναμη που εφαρμόζεται στο *β*˙ αλλά δεν το μετακινεί ολόκληρο, γιατί μέρος του παραμένει προσκολλημένο στο θεωρούμενο επίπεδο , και αυτό ένα μέρος του όπως για παράδειγμα το μισό του συνολικού βάρους˙ αν όντως δεν φανταζόμασταν αυτό το επίπεδο και προσθέταμε στην κινητήρια δύναμη μια ποσότητα που αντιστοιχεί στο τμήμα του βάρους που κρατά σε ισορροπία, το άκρο του μοχλού όπου ενεργεί η ισχύς θα ήταν προς τα κάτω και το άκρο *α* θα ανέβαινε, γιατί οι δυνάμεις ενεργούν στα βάρη σύμφωνα με το νόμο της αναλογίας.

Το βάρος θα βρίσκεται σε θέση ισορροπίας, χωρίς την επέμβαση οποιασδήποτε δύναμης, όταν το επίπεδο που διέρχεται από το σημείο *ε* και είναι κάθετο στον ορίζοντα και το χωρίσει σε δύο ίσα μέρη. Αυτός ο τρόπος χρήσης του μοχλού επιστρέφει στον κύκλο, αλλά είναι διαφορετικός από τον πρώτο. Η ισορροπία μεταφέρεται επίσης στον κύκλο, αυτό είναι προφανές αφού ο κύκλος είναι ένα είδος ζυγού.

10. Το βαρούλκο (σ' αυτήν την περίπτωση μια διπλή τροχαλία) δεν είναι παρά δύο ομόκεντροι κύκλοι, ο ένας μικρός είναι ο κύκλος του άξονα, ο άλλος μεγάλος είναι ο κύκλος του τυμπάνου. Είναι σωστό να κρεμάμε το βάρος στον μικρό κύκλο και την κινητήρια δύναμη στο τύμπανο, γιατί με αυτόν τον τρόπο λίγη δύναμη υπερτερεί ενός μεγάλου

βάρους. Όσοι προηγήθηκαν μας τα είπαν ήδη και το έχουμε επαναλάβει μόνο για να είναι πλήρες το βιβλίο μας και για να είναι καλά οργανωμένη η σύνθεση.

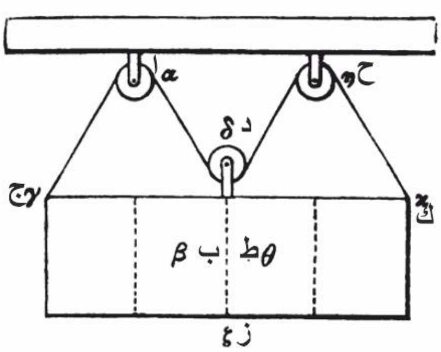
11. Ας εξηγήσουμε τώρα την αιτία της λειτουργίας πολύσπαστου. Σκεφτείτε ένα τύμπανο τοποθετημένο γύρω από το σημείο _α_ και εφοδιασμένο με ένα κορδόνι που ονομάζεται _όπλον_˙ βγ είναι αυτό το κορδόνι. Ας τεντώσουμε και τα δύο άκρα προσαρμόζοντας ένα βάρος που θα μετακινηθεί από τη γη. Είναι προφανές ότι η τάση των δύο κλάδων του κορδονιού κάτω από την επίδραση του βάρους είναι η ίδια και ότι ισοδυναμεί, για καθένα από αυτά, με το μισό βάρος d. Πράγματι, αν η τάση των δύο κλάδων δεν ήταν ίση, η μία με τη μεγαλύτερη τάση θα τραβούσε την άλλη και θα την ανέβαζε.



Αλλά δεν βλέπουμε τίποτα από αυτά. καθένα από τα δύο τεντωμένα σκέλη του σχοινιού είναι σε ηρεμία. Αν λοιπόν χωρίσουμε το βάρος d σε δύο μισά, δηλαδή σε δύο ίσα μέρη, είναι προφανές ότι οι δύο τεντωμένες λωρίδες του κορδονιού θα παραμείνουν σε ηρεμία, αφού το βάρος που τεντώνει και τα δύο είναι το ίδιο, και ακριβώς το αυτός που τα τέντωσε πρώτος. Το μισό βάρος επομένως ισορροπεί ένα βάρος που είναι ίσο με αυτό. Τα δύο τεντωμένα μέρη του κορδονιού εξακολουθούν να είναι ίσα, με μια άλλη έννοια, δηλαδή ότι ίσα βάρη κρέμονται από ίσους μοχλούς. η τεντωμένη χορδή αγγίζει την περιφέρεια του τυμπάνου σε δύο σημεία απέναντι το ένα από το άλλο και των οποίων οι αποστάσεις από το κέντρο είναι ίσες˙ και τα βάρη είναι σαν να αιωρούνται από αυτά τα δύο σημεία.

Με αυτόν τον τρόπο και σε αυτό το σύστημα, ένα φορτίο μεγάλου βάρους δεν εξισορροπείται από μια μικρή δύναμη. Γι' αυτό, μεταξύ των ανυψωτικών οργάνων που αποτελούνται από τροχαλίες, αυτά λέγεται ότι έχουν απλή έλξη και το όργανο που ονομάζεται απλός ανυψωτής (βαρουλκός) είναι το κορδόνι χωρισμένο σε δύο τεντωμένους κλάδους.

12. Τώρα ας μιλήσουμε για τη συσκευή διπλής έλξης. Είναι αυτό στο οποίο το σχοινί χωρίζεται σε τρία σκέλη. Παρομοίως, κάθε φορά που επαναλαμβάνεται η προς τα έξω και η επιστροφή δίοδος του σκοινιού, το όργανο ορίζεται σύμφωνα με τον αριθμό αυτών των επαναλήψεων μειωμένο κατά μία μονάδα, έτσι ώστε το όνομά του να θυμίζει τον αριθμό που είναι μικρότερος από αυτόν κατά μια μονάδα. Ας φανταστούμε λοιπόν ότι το άκρο του κορδονιού που βρίσκεται στο _d_ περνά μέσα από μια τροχαλία και ότι πηγαίνει από εκεί για να στερεωθεί σε ένα σταθερό στήριγμα, κοντά στην τροχαλία _α_ στο σημείο _η_. Η τάση των νημάτων του κορδονιού θα είναι ίση, για την αιτία που είπαμε˙ κάθε ένα από τα σκέλη τεντώνει το ένα τρίτο του βάρους. Αν λοιπόν διαιρέσουμε το βάρος _ζ_ σε τρία ίσα μέρη, έτσι ώστε το άθροισμα των μερών _ϑ_, _β_ να είναι διπλάσιο του τμήματος _γ_, το βάρος θα παραμείνει σε ηρεμία και δεν θα γέρνει προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση και το βάρος που αιωρείται στο σκέλος _γ_ θα εξισορροπήσει το διπλό βάρος που αιωρείται στους άλλους κλάδους.

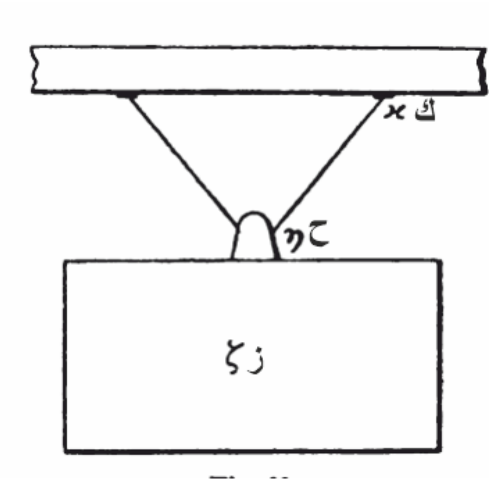


Εάν χρησιμοποιήσουμε, αντί για το τμήμα γ που είναι το ένα τρίτο του βάρους, μια ισοδύναμη δύναμη για να τεντώνει το σκοινί, το βάρος του υπόλοιπου τμήματος δεν θα το υπερβεί, αν και είναι μικρότερο από αυτό. Ανάλογα θα είναι τα φαινόμενα αν μπούμε το άκρο του κορδονιού που είναι στο *η*, σε μια τροχαλία στερεωμένη στο σημείο *η*, και το τραβήξουμε μέχρι να στερεωθεί στο βάρος *ζ*, στο σημείο *κ* .

Κάθε σκέλος σχοινιού στη συνέχεια θα υποστηρίξει το ένα τέταρτο του βάρους. Και αν πάλι διαιρέσουμε το βάρος σύμφωνα με αυτή τη νέα διαίρεση, έτσι ώστε το άθροισμα των μερίδων που σημειώνονται με *ϑ*, *β*, *γ* να είναι ίσο με το τριπλάσιο του τμήματος *κ*, αυτό θα ισορροπήσει το υπόλοιπο βάρος. Η αναλογία του αριθμού των κλάδων που τεντώνεται από κάθε τμήμα του βάρους προς τη χορδή που την τραβάει είναι ίση με την αναλογία του βάρους προς το αντίβαρο. Επομένως, είναι απαραίτητο, για το σύνολο του βάρους, η αναλογία του βάρους που δίνεται προς τη δύναμη που το κινεί να είναι όπως η αναλογία του αριθμού των σκοινιών που τεντώνονται από κάθε τμήμα του βάρους προς τα σκοινιά που έλκονται από την κινητήρια δύναμη. Για παράδειγμα, εάν το βάρος είναι 50 τάλαντα και η κινητήρια δύναμη 5 τάλαντα, θα είναι απαραίτητο τα τεντωμένα νήματα που φέρουν το βάρος να είναι δέκα φορές περισσότερα από τα τεντωμένα σκέλη με δύναμη 5 ταλάντων. Έτσι οι τεντωμένοι κλάδοι που φέρουν το βάρος είναι δέκα τον αριθμό, ο κλάδος στον οποίο εφαρμόζεται η κινητήρια δύναμη θα είναι μοναδικός. Αλλά τα σκέλη που φέρουν το βάρος είναι είκοσι, αυτά στα οποία εφαρμόζεται η κινητήρια δύναμη θα είναι δύο στον αριθμό. Υπό αυτή την προϋπόθεση, η δύναμη εξισορροπεί το βάρος. Εάν θέλουμε η δύναμη να υπερβαίνει το βάρος, είτε θα αυξήσουμε την δύναμη είτε θα αυξήσουμε τον αριθμό των κλάδων που φέρουν το βάρος.

Ολοκληρώθηκε η έκθεση του ανυψωτικού μηχανήματος με τροχαλίες, που ονομάζεται *πολύσπαστο*˙ βλέπουμε τώρα με στοιχεία ότι μπορούμε να μετακινήσουμε ένα δεδομένο βάρος με μια δεδομένη δύναμη.

13 Συμβαίνει ότι αν σε μια χρήση το σκοινί που διπλώνεται και τεντώνεται είναι μόνο δύο κλάδοι, τότε λέγεται *απλής έλξης*, αν είναι διπλό, *διπλής έλξης*, εξαρτάται από τη δύναμη που εφαρμόζουμε. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια τροχαλία στο σημείο *α* και μέσα από αυτήν περνά ένα σκοινί, και έστω ότι τα άκρα του σκοινιού που κρέμονται στα σημεία *β* και *γ* και έστω ότι τα *β* και *γ* είναι δεμένα με ένα φορτίο, δηλαδή το φορτίο *ε*. Αν τώρα διαιρέσουμε το φορτίο σε δύο μισά, τότε τα δύο μέρη στις δύο πλευρές θα ισορροπούν˙ αυτή η τροχαλία ονομάζεται *απλής έλξης,* γιατί η δύναμη που ισορροπεί το φορτίο είναι ίση με αυτό. Ας φανταστούμε τώρα ένα διαφορετικό φορτίο το *ζ* και ας το στερεώσουμε σε μια τροχαλία, την *η*, και ας περάσουμε μέσα από την τροχαλία ένα σκοινί . Αν στερεώσουμε αυτό το σκοινί σε μια σταθερή δοκό, έτσι που το φορτίο *ζ* να κρέμεται στο αέρα, τότε κάθε ένα από τα δύο στερεωμένα μέρη του σκοινιού στηρίζει το μισό του φορτίου. Αν τώρα κάποιος λύσει το ένα άκρο του σκοινιού στο *κ* και σταθεί εκεί κρατώντας το σκοινί, τότε σηκώνει το μισό του φορτίου ενώ το φορτίο είναι το διπλάσιο της δύναμης που το κρατά. Από αυτό είναι προφανές ότι από το σταθερό στήριγμα στο δεμένο άκρο του σχοινιού ασκείται μια άλλη δύναμη, που είναι ισοδύναμη με αυτή που συγκρατεί το άλλο άκρο του σχοινιού, και η οποία επίσης έλκει επίσης το φορτίο. Επομένως αυτή η τροχαλία δικαίως ονομάζεται *διπλής έλξης*. Κατά συνέπεια μπορεί κανείς να ονομάσει το σχοινί που διπλώνεται και χωρίζεται σε δύο



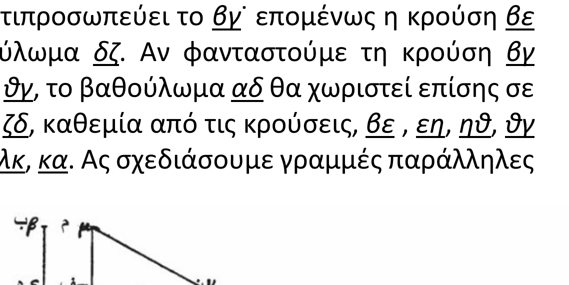
μέρη και σφίγγεται απλό και διπλό τράβηγμα. Επομένως, είναι ξεκάθαρο τώρα ότι το άλλο άκρο του σχοινιού πρέπει να στερεωθεί σε μια σταθερή εγκάρσια δοκό και όχι στο φορτίο που δίνεται για ανύψωση, επειδή μια ορισμένη δύναμη από αυτό το σταθερό στήριγμα διατηρεί την ισορροπία της κινούμενης δύναμης και το βοηθά να κινήσει το φορτώνω. Έτσι αποδεικνύεται ότι το φορτίο διατηρεί την ισορροπία μιας δύναμης ίσης με αυτό εάν το ένα άκρο του σχοινιού είναι δεμένο στο φορτίο. Εάν, ωστόσο, το άλλο άκρο στερεωθεί σε μια σταθερή εγκάρσια δοκό, τότε η δύναμη διατηρεί την ισορροπία ενός φορτίου δύο φορές μεγαλύτερη και το φορτίο μπορεί να μετακινηθεί με μικρότερη δύναμη από την πρώτη φορά.

14. Η σφήνα κινείται από το χτύπημα σε συγκεκριμένο χρόνο, γιατί δεν υπάρχει κίνηση χωρίς χρόνο˙ και αυτό το χτύπημα ενεργεί μόνο από μια επαφή που δεν συνεχίζεται στη γωνία, έστω και για πολύ λίγο. Προφανώς προκύπτει ότι μετά την παύση του χτυπήματος, η σφήνα εξακολουθεί να κινείται. Αυτό το μαθαίνουμε επίσης, με άλλο τρόπο, από τους ήχους που μετά το χτύπημα ακούγονται για αρκετή ώρα από τη σφήνα και από τις κινήσεις που συνοδεύουν την κίνηση της. Έτσι η κρούση ενεργεί ακόμα και στο πολύ μικρό χρονικό διάστημα που επιμένει στη γωνία. Αυτό φαίνεται στην περίπτωση ρίψης πέτρας ή βέλους, είτε με το χέρι είτε με όργανο: πράγματι, αφού η πέτρα φύγει από το χέρι, τη βλέπουμε να διασχίζει με δύναμη ένα μεγάλο χώρο, χωρίς το χέρι να την σπρώχνει: από το οποίο καταλαβαίνει κανείς ότι το χτύπημα δεν επιμένει στη σφήνα για σημαντικό χρονικό διάστημα, και ότι παρόλα αυτά η σφήνα μετά το χτύπημα, συνεχίζει να κινείται.

15. Λέω ότι κάθε κρούση ακόμα και πολύ αδύναμο μπορεί να κινήσει οποιαδήποτε γωνία. Έστω μια γωνία της οποίας η γωνία είναι στο σημείο _α_ και της οποίας η κορυφή είναι η ευθεία _δμ_. Το θέτει σε κίνηση μια κρούση _βγ_, και έστω _αδ_ η ποσότητα που προχωρά.

Είναι δυνατόν, λέμε, να κινείται από μια πολύ αδύναμη κρούση. Ας αφαιρέσουμε από τη _βγ_ μια κρούση που αντιπροσωπεύεται από _βε_, λιγότερη από κάθε δεδομένη κρούση. Λέω ότι η κρούση _βε_, λαμβανόμενη μεμονωμένα, οδηγεί ένα ορισμένο μέρος της σφήνας.

Απόδειξη: Πράγματι, εφόσον η κρούση _βγ_ παράγει ένα βαθούλωμα _αδ_, η κρούση _γε_ παράγει ένα βαθούλωμα μικρότερο από _αδ_ το _αζ_. Όταν προσθέσουμε ξανά τη κρούση _βε_, όλο το βαθούλωμα προκύπτει από το χτύπημα που αντιπροσωπεύει το _βγ_˙ επομένως η κρούση _βε_ θεωρούμενη από μόνη της παράγει το βαθούλωμα _δζ_. Αν φανταστούμε τη κρούση _βγ_ χωρισμένη σε κρούσεις ίσες, δηλαδή _βε_, _εη_, _ηϑ_, _ϑγ_, το βαθούλωμα _αδ_ θα χωριστεί επίσης σε τμήματα ίσα με _δζ_, τα οποία θα είναι _ακ_, _κλ_, _λζ_, _ζδ_, καθεμία από τις κρούσεις, _βε_ , _εη_, _ηϑ_, _ϑγ_ αντίστοιχα που παράγουν βαθουλώματα _δζ_, _ζλ_, _λκ_, _κα_. Ας σχεδιάσουμε γραμμές παράλληλες στην ευθεία _δμ_ που αντιπροσωπεύει την κεφαλή της σφήνας. Αυτές είναι οι γραμμές _ζν_, _λσ_, _κο_˙ και γραμμές παράλληλες στη γραμμή _αδ_ και οι οποίες είναι _πν_, _χσ_, _ρο_˙ οι ευθείες _δρ_, _ρχ_, _χπ_, _πμ_ είναι ίσες. Αν ενώσουμε τα σημεία _π_, _χ_, _ρ_ στο σημείο _α_, σχηματίζουμε τέσσερα τρίγωνα που οι κορυφές τους είναι στο σημείο _α_ και οι βάσεις τους οι ευθείες _μπ_, _πχ_, _χρ_, _ρδ_ και καθένα από αυτά πιέζεται από



ίση κρούση με τη κρούση βε (και στο σύνολο δίνουν μια γραμμή) μήκους ίσου με τη γραμμή αδ. Είναι επομένως το ίδιο να πούμε ότι η κρούση βε βυθίζει ολόκληρη τη σφήνα κατά μήκος δζ=ακ, ή λέμε ότι βυθίζει τη σφήνα του οποίου η κορυφή είναι δρ κατά το μήκος αδ, επειδή, στην κίνηση ολόκληρου της σφήνας κάτω από το αποτέλεσμα αυτής της κρούσης, η γραμμή κο κινείται κατά το μήκος ακ, ενώ, στην κίνηση της σφήνας της οποίας η κορυφή είναι δρ, αυτή η γραμμή δρ, ίση με κο, κινείται κατά το μήκος πρόσθεσης. Άρα ο δρ προχωρά από την κρούση βε κατά μήκους αδ.[ο Carra de Vaux βρίσκει δυσκολίες στη λογική] Προφανώς προκύπτει ότι η αναλογία της κρούσης βε προς τη συνολική κρούση βγ είναι η ίδια με την αναλογία του γωνιακού τμήματος που έχει το δρως κορυφή σε ολόκληρο το σφήνα.

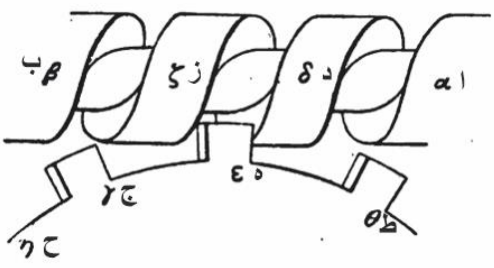
Ομοίως, αν συγκρίνουμε το χρόνο κατά τον οποίο η σφήνα της οποίας η κορυφή είναι δρ κινείται με το χρόνο κατά τον οποίο ολόκληρη η σφήνα οδηγείται από η κρούση βγ, η αναλογία αυτών των ποσοτήτων εξακολουθεί να είναι ισοδύναμη με αυτή της κρούσης βε προς την ολική κρούση. *[κατά Carra de Vaux υπάρχουν δυσκολίες στο κείμενο*] Από άλλη σκοπιά δεν βρίσκουμε διαφορά μεταξύ της κίνησης που παράγει η κρούση βγ στην κορυφή δμ, δηλαδή σε ολόκληρη τη σφήνα, και της κίνησης που παράγει κάθε μία από τις κρούσεις βε, εη, ηϑ , ϑγ˙ σε κάθε ένα από τις σφήνες των οποίων οι κορυφές είναι μπ, πχ, χρ, ρδ γιατί οι επιμέρους κρούσεις μαζί ισούνται με τη συνολική κρούση. Επομένως η κρούση βε πιέζει τη σφήνα της οποίας η κορυφή είναι μπ κατά την ίδια ποσότητα με την οποία η συνολική κρούση πιέζει ολόκληρο τη σφήνα, και ότι κάθε μια από τις άλλες κρούσεις πιέζει κάθε ένα από τις άλλες σφήνες. Εάν το σώμα που ωθείται είναι μόνο μια από τις μικρές σφήνες, πιέζεται από μια μόνο κρούση της ποσότητας του οποίου ολόκληρη η σφήνα πιέζεται από την επίδραση ενός αθροίσματος κρούσεων και η κίνησή της είναι ανάλογη με τις κρούσεις, εννοώ αυτές που αντιπροσωπεύονται από βε, εη, ηϑ, ϑγ.[*δυσκολίες στο κείμενο κατά Carra de Vaux*] Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η αναλογία μεταξύ των κτύπων είναι σαν την αναλογία μεταξύ των κρουστών, ή όπως η αναλογία μεταξύ της κορυφής της συνολικής σφήνας και της κορυφής μιας από τις μικρές σφήνες. Και όσο πιο μικρή είναι η γωνία της μικρής σφήνας, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα δύναμης που απαιτείται για την οδήγησή της σε σύγκριση με αυτήν που οδηγεί ολόκληρο τη σφήνα.

16. Μένει να εξηγήσουμε την αιτία της δράσης στον κοχλία. Ας ξεκινήσουμε πρώτα εκθέτοντας την κατασκευή των στροφών του κοχλία. Έτσι λέμε: αν θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα κοχλία, παίρνουμε ένα κομμάτι σκληρό και δυνατό ξύλο, τέτοιου μήκους που θέλουμε˙ το τμήμα του οποίου προτείνουμε να σχηματίσουμε τον κοχλία πρέπει να είναι γυαλισμένο, το πάχος του να είναι παντού ίσο και η επιφάνειά του κυλινδρική. Χωρίζουμε αυτόν τον κύλινδρο σε ίσα τμήματα, το ύψος μιας στροφής του κοχλία. Στη συνέχεια σχεδιάζουμε σε ένα επίπεδο δύο ευθείες γραμμές κάθετες μεταξύ τους, η μία ίση με την περιφέρεια του κυλίνδρου, η άλλη ίση με το ύψος της στροφής του κοχλία˙ και ενώνουμε τα δύο άκρα αυτών των γραμμών με μια ευθεία γραμμή που απέναντι της είναι μια ορθή γωνία. Φτιάχνουμε ένα τρίγωνο από ένα φύλλο ορείχαλκου, παρόμοιο με αυτό που μόλις χαράξαμε και αρκετά λεπτό ώστε να το λυγίσουμε όπως θέλουμε. Έτσι, ας τοποθετήσουμε την άκρη ίση με το ύψος της στροφής του κοχλία στο πρώτο από τα ίσα τμήματα που έχουμε σημειώσει στην άκρη του κυλίνδρου και τυλίξουμε το τρίγωνο από λεπτό ορείχαλκο στο κυλινδρικό κομμάτι ξύλου . Η άλλη οξεία γωνία του τριγώνου θα ενώσει τη ορθή γωνία του ορειχάλκινου σχήματος, αφού η βάση του τριγώνου είναι ίση με την περιφέρεια του κυλίνδρου. Στη συνέχεια κολλάμε τις δύο γωνίες και διαγράφουμε τη στροφή του κοχλία κατά μήκος της πλευράς που είναι απέναντι στην ορθή γωνία. Στη συνέχεια, σύροντας το λεπτό τρίγωνο στο δεύτερο τμήμα, φέρνουμε την πλευρά του στο δεύτερο τμήμα της άκρης και επαναλαμβάνουμε την πρώτη λειτουργία για να εντοπίσουμε τη δεύτερη στροφή του κοχλία που πρέπει να συνεχίσει την πρώτη. Κάνουμε το ίδιο μέχρι να τραβήξουμε την έλικα σε όλα τα τμήματα του κυλινδρικού κομματιού ξύλου.

Όταν χρησιμοποιούμε τον κοχλία, θα είμαστε υποχρεωμένοι να τοποθετήσουμε στην είσοδο της ελικοειδούς αυλάκωσης το ξύλινο δάχτυλο που ονομάζεται τύλος. Είναι αυτός που κουβαλάει το βάρος. όταν περιστρέφεται ο κοχλίας, αυτό το όργανο ανεβαίνει και το βάρος ανεβαίνει μαζί του.

17 Ωστόσο, πρέπει να φανταστούμε τον κοχλία σαν μια στριμμένη σφήνα, επειδή το τρίγωνο που καθορίζει το σπείρωμα του κοχλία έχει τη μορφή σφήνας. Η κεφαλή της είναι η πλευρά που αντιπροσωπεύει το ύψος του σπειρώματος του κοχλία και η οξεία γωνία της σφήνας είναι η υπόλοιπη γωνία του τριγώνου, στο οποίο βρίσκεται το [κομμάτι] ξύλο που ονομάζεται Τύλος. Επομένως ο κοχλίας είναι μία σφήνα που έχει τυλιχτεί που δεν έχει αποτέλεσμα με το χτύπημα, αλλά από την περιστροφή της. Η στροφή εδώ αντικαθιστά το χτύπημα μιας σφήνας, άρα σηκώνει το φορτίο. Με την ανύψωση του φορτίου έχει το αντίθετο αποτέλεσμα από τη σφήνα, γιατί η σφήνα έχει αποτέλεσμα μόνο διεισδύοντας στο εσωτερικό και έτσι μετακινώντας το φορτίο, ενώ το φορτίο παραμένει στη θέση του, ο κοχλίας ωστόσο είναι μια σφήνα που έχει περιστραφεί, όμως σηκώνει το φορτίο προς τον εαυτό του ενώ παραμένει στη θέση του. Όπως έχει αποδειχθεί για τη σφήνα ότι αυτή με τη μικρότερη γωνία κινεί το φορτίο με μικρότερη δύναμη από αυτή που κινεί το φορτίο μέσω σφήνα με μεγαλύτερη γωνία, πρέπει να πούμε και για τον κοχλία στον οποία τα κενά μεταξύ των σπειρωμάτων των σπειρών είναι μικρότερα ώστε να μετακινεί το φορτίο ευκολότερα από τον κοχλία στην οποία τα κενά μεταξύ των σπειρωμάτων είναι μεγαλύτερα, επειδή ο μικρότερος χώρος προκαλεί μικρότερη γωνία. Επομένως, ο κοχλίας του οποίου τα σπειρώματα είναι πιο απότομα κινεί το φορτίο μέσω μεγαλύτερης δύναμης, ενώ ο κοχλίας με μικρά σπειρώματα μετακινεί το φορτίο μέσω μιας μικρότερης δύναμης.

18. Όταν ένα τύμπανο με ξύλινα δόντια δένει με το αυλάκι του κοχλία, ο κοχλίας, με κάθε περιστροφή που κάνει, κινεί ένα δόντι. Αυτό θα δείξουμε με αυτόν τον τρόπο: φανταστείτε ένα κοχλία, δηλαδή *αβ*, στον οποίο υπάρχει μια έλικα της οποίας οι διαδοχικές στροφές χαρακτηρίζονται με *α*, *δ*, *ζ*. Ας υποθέσουμε ότι ένα τύμπανο με ξύλινα δόντια είναι τοποθετημένο κοντά στο κοχλία. Το *ηγεϑ* είναι αυτό το τύμπανο, και τα δόντια του *ηγ*, *γε*, *εϑ* πλένονται με τις στροφές του κοχλία. Ας υποθέσουμε ότι το δόντι γε μπαίνει ακριβώς σε μία από τις στροφές του κοχλία, και τα άλλα δόντια δεν μπαίνουν στις άλλες στροφές βιδών. αν γυρίσουμε το κοχλία έτσι ώστε το σημείο *ε* να ωθηθεί προς τα έξω από την πλευρά *γ*, το ε έρχεται στο *γ* και μετά από μια περιστροφή του κοχλία, το δόντι *γε* έρχεται στη θέση του δοντιού *γη* και το δόντι *εϑ* στη θέση του δοντιού. Έτσι, σε μια πλήρη περιστροφή του κοχλία, το διάστημα ενός δοντιού μετακινείται εξ ολοκλήρου. Το ίδιο πρέπει να φανταστούμε και για τα άλλα δόντια. Επομένως, όσα δόντια υπάρχουν στο τύμπανο, τόσες περιστροφές πρέπει να πραγματοποιήσουν ο κοχλίας, έτσι ώστε το τύμπανο να πραγματοποιήσει μόνο μία.

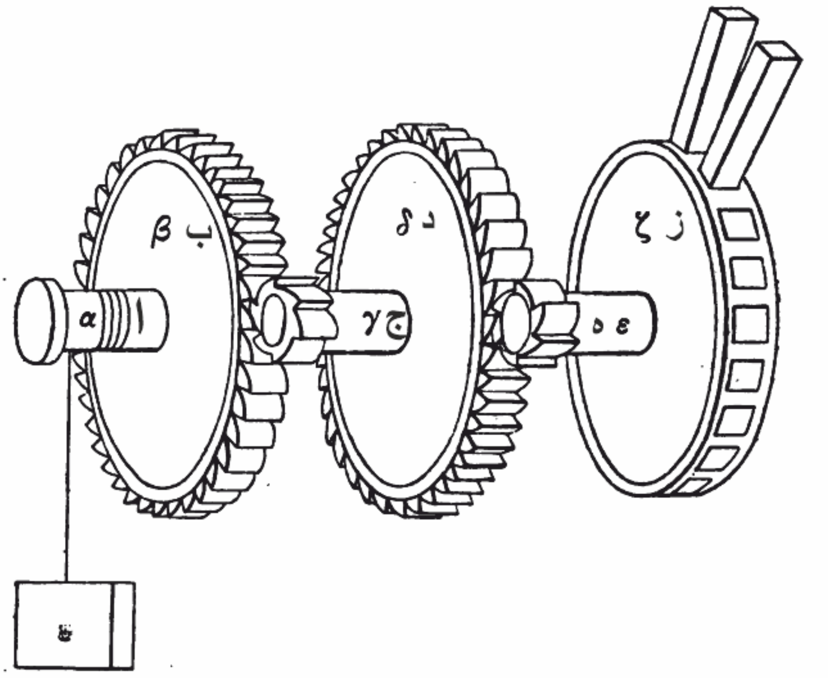


19. Όταν γυρίζει ο κοχλίας, το ξύλινο όργανο που λέγεται **τύλος** κινείται, όπως είπαμε παραπάνω, και ανεβάζει το βάρος ενώ ανεβαίνει. Είναι απαραίτητο, όταν ο κοχλίας δεν κινείται, αυτό το ξύλινο δάχτυλο να παραμένει σε ηρεμία στη θέση του, με κάποια δύναμη που θα ασκηθεί σε αυτό, ώστε τη στιγμή που κάποιος σταματά να γυρίζει, το βάρος να μην υπερισχύει˙ ο κοχλίας. Δηλαδή, αυτό το δάχτυλο, έχοντας εισαχθεί στην ελικοειδή αυλάκωση και χρησιμεύει ως αναστολέας, δεν πρέπει να γλιστρήσει έξω από αυτό το αυλάκι, γιατί, αν γλιστρούσε, όλο το βάρος θα κατέβαινε ξανά στο σημείο από το οποίο ανυψώθηκε. Το όργανο αυτό δεν βγαίνει από την ελικοειδή αύλακα, όταν το άκρο του προσαρμόζεται σφιχτά στο αυλάκι και μπαίνει σε αυτό σαν παπούτσι. Αυτό απαιτεί οι στροφές του κοχλία να είναι παράλληλες με τη βάση του κυλίνδρου στον οποίο τραβιέται ο κοχλίας. Όταν οι αυλακιές είναι έτσι διατεταγμένες, είναι

σαν παπούτσια που περικλείουν το ξύλινο όργανο που τραβά το βάρος. Αν, αντίθετα, οι στροφές του κοχλία που σχηματίζονται από την ελικοειδή αυλάκωση έχουν πολύ ισχυρή κλίση, μέχρι να πλησιάσουν για να είναι παράλληλες με την άκρη του κυλίνδρου, τότε, όταν ένα πολύ μεγάλο βάρος θα αναρτηθεί από το ξύλινο δάχτυλο, ή ότι μια σημαντική δύναμη θα τον βαρύνει, αυτό το όργανο θα αντιδράσει ενάντια στην περιστροφή που ασκείται στον κοχλία και θα την κάνει να στρίψει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με αυτό βλέπουμε ότι ο κοχλίας μπορεί να κινήσει το όργανο που ονομάζεται τύλος όπως μπορεί να κινηθεί και η ίδια από αυτό το όργανο. Το κινεί όταν η ελικοειδής αυλάκωση είναι κοντά σε κύκλο. Σε αυτή την περίπτωση, η περιστροφή του κοχλία σταματά, το ξύλινο δάχτυλο παραμένει σε ηρεμία στην ίδια θέση, διατηρώντας το αιωρούμενο βάρος. Αντίθετα, όταν η ελικοειδής αυλάκωση έχει πολύ ισχυρή κλίση, όταν η περιστροφή του κοχλία σταματά, το όργανο δεν παραμένει σε ηρεμία, αλλά είναι αυτός που κινεί τον κοχλία. Με αυτά έχουμε μιλήσει αρκετά για τη φύση του κοχλία και της φύσης του.

20 Το ότι οι πέντε απλές μηχανές που μετακινούν ένα φορτίο είναι όμοιες με κύκλους γύρω από ένα κέντρο, αποδεικνύεται από τις εικόνες έχουμε σχεδιάσει στα προηγούμενα˙ όμως μου φαίνεται ότι μοιάζουν περισσότερο με μια ζυγαριά παρά με κύκλους, γιατί στα προηγούμενα οι βάσεις των αποδείξεων για τους κύκλους προερχόντουσαν από το ζυγό. Γιατί είχε αποδειχτεί ότι το φορτίο που αναρτάται από το μικρότερο βραχίονα σχετίζεται με το βάρος που αναρτάται από το μεγαλύτερο βραχίονα έχει την ίδια σχέση όπως ο μεγαλύτερο βραχίονας προς το μικρότερο. Για όλες αυτές τις απλές μηχανές στην πράξη υπάρχει ένα εμπόδιο για το να κινήσουμε ένα μεγάλο φορτίο με μια μικρή δύναμη. Οι πρώτες τρεις απαιτούν να αυξήσουμε το μέγεθος τους σύμφωνα με το μέγεθος του φορτίου που θέλουμε να μετακινήσουμε, δηλαδή το για το βαρούλκο την ακτίνα της περιστροφής, το μήκος του μοχλού και το πολύσπαστο. Οι άλλες δύο που σχηματίζονται από τη σφήνα και τον κοχλία, απαιτούν να ελαττωθεί το μέγεθος τους κατά τον ίδιο λόγο. Αν για παράδειγμα θέλουμε να μετακινήσουμε ένα φορτίο χιλίων ταλάντων με μια δύναμη πέντε ταλάντων και χρησιμοποιήσουμε για αυτό το λόγο το βαρούλκο, τότε η γραμμή που περνά από το κέντρο του τροχού στην περιφέρεια του θα πρέπει να είναι περισσότερο από διακόσιες φορές το μέγεθος της γραμμής από το κέντρο του κύκλου στην περιφέρεια. Αν όμως πρόκειται για το μοχλό, τότε ο μεγάλος μοχλοβραχίονας στον οποίο εφαρμόζεται η δύναμη που μετακινεί ο φορτίο θα πρέπει να είναι σύμφωνα με αυτό το λόγο ή και λίγο μεγαλύτερο. Η εργασία με αυτά τα εργαλεία είναι δύσκολή ή και σχεδόν αδύνατη, γιατί αν λάβουμε τη διάμετρο της ράβδου μισό πήχη έτσι ώστε να είναι αρκετά δυνατός για να μπορέσει να σηκώσει ένα φορτίο τότε είναι ανάγκη να κάνουμε το μέγεθος του τροχού εκατό φορές ή και περισσότερο μεγαλύτερο. Το να το κάνουμε αυτό είναι όμως δύσκολο. Το ίδιο ισχύει και για τον μοχλό και για το πολύσπαστο, γιατί δεν μπορούμε να υποδιαιρέσουμε το μοχλό με αυτόν τον τρόπο ή να επιλέξουμε τον αριθμό των τροχαλιών σύμφωνα με αυτό το ποσό. Ας θεωρήσουμε λοιπόν τα εμπόδια που παρουσιάζονται κατά τη χρήση αυτών των μηχανών και να σκεφτούμε τον τρόπο με τον οποίο θα τα υπερνικήσουμε.

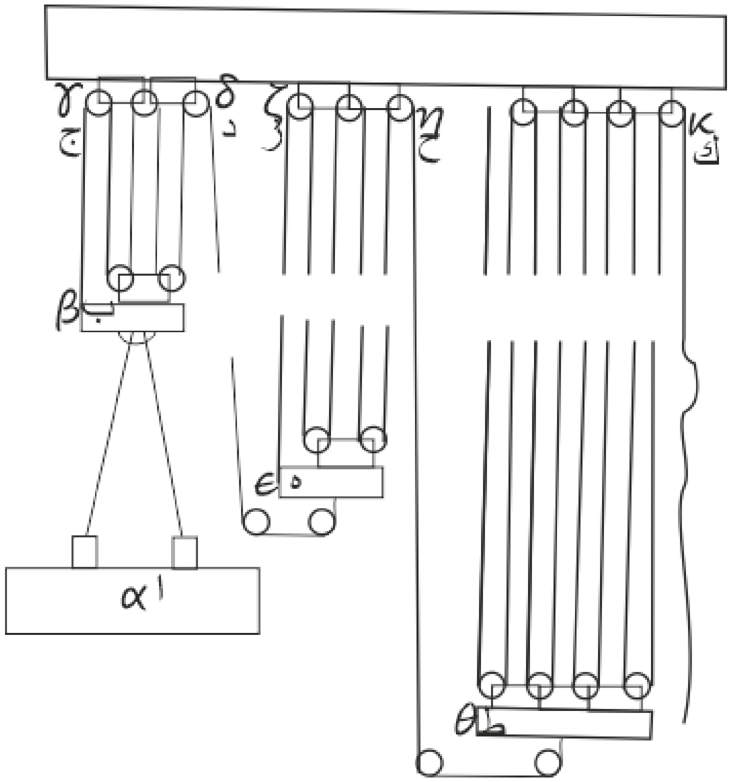
21. Λέμε ότι πολλές από τις μορφές στις εικόνες μας φέρουν σε κύκλους, δηλαδή οι σφαίρες και οι κύλινδροι˙ οι κινήσεις τους είναι περιστροφές, καθώς έχω δείξει στο προηγούμενο βιβλίο.[17]



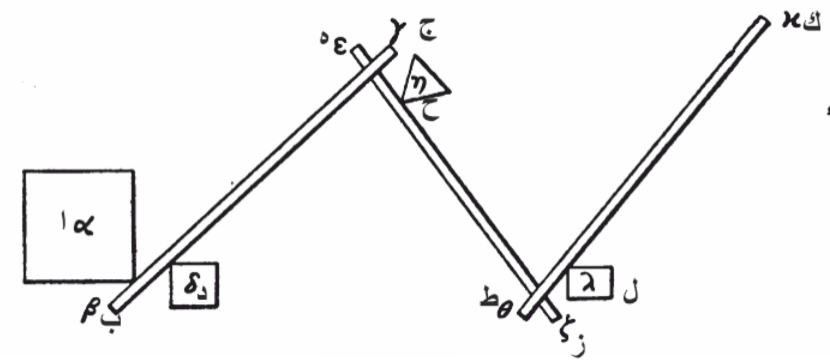
Προτείνουμε να μετακινήσουμε ένα μεγάλο φορτίο με μια μικρή δύναμη, με τη βοήθεια μιας τροχαλίας για την ανύψωση του φορτίου χωρίς να υπάρχουν τα εμπόδια που είπαμε. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να μετακινήσουμε ένα βάρος 1000 ταλάντων με μια κινητήρια δύναμη 5 ταλάντων. Πρέπει πρώτα να φέρουμε σε ισορροπία το φορτίο με αυτή τη δύναμη, γιατί όταν πετύχουμε αυτήν την ισορροπία, θα μπορέσουμε να μετακινήσουμε το φορτίο με το να αυξήσουμε λίγο τη δύναμη που εφαρμόζουμε στα όργανα του εργαλείου. Ο άξονας στον οποίο τυλίγεται το σκοινί που φέρει το φορτίο έστω ότι είναι ο α και έστω ότι η τροχαλία που συνδέεται σ' αυτόν τον άξονα είναι η β. Για να διευκολύνουμε την κατασκευή , ας πούμε ότι η διάμετρος αυτής της τροχαλίας είναι πέντε μόνο φορές η διάμετρος του φορτίου (α). Θα πρέπει λοιπόν η δύναμη που εφαρμόζεται στην τροχαλία για να ισορροπεί το βάρος των 1000 ταλάντων να είναι 200 τάλαντα˙ όμως η δύναμη που διαθέτουμε δεν είναι 200 τάλαντα. Όμως δεν είναι δυνατό να κινήσουμε αυτήν την τροχαλία με γη δύναμη που διαθέτουμε. Ας κάνουμε έναν άξονα με δόντια, έστω, τον γ που δια πλέκεται με τα δόντια της τροχαλίας β , και ότνα ο άξονας γ τίθεται σε κίνηση μετακινείται και η τροχαλία β και με αυτήν ο άξονας α που σηκώνει το φορτίο˙ έτσι αν μετακινείται ο άξονας γ μετακινείται και το φορτίο. Αυτός ο άξονας κινείται από τη δύναμη που κινεί την τροχαλία β γιατί δείξαμε ότι δύο κύκλοι που είναι διαπλεκόμενοι και βρίσκονται σε διαφορετικούς άξονες κινούνται από την ίδια δύναμη. Έτσι δεν έχει διαφορά αν το φορτίο μετακινείται από την τροχαλία β ή από τον άξονα γ. Έστω τώρα μια τροχαλία δ που είναι στερεωμένη σε αυτόν τον άξονα, και η διάμετρος της είναι πέντε φορές η διάμετρος του άξονα γ . Για να υπάρχει ισορροπία, η δύναμη που εφαρμόζεται στην τροχαλία δ πρέπει να είναι 40 τάλαντα. Ας υποθέσουμε ακόμη ένα άξονα τον ε, που εμπλέκεται με την οδοντωτή τροχαλία, οπότε η κινητήρια δύναμη στον ε θα είναι επίσης σαράντα τάλανα. Έστω ότι υπάρχει ακόμη μια οδοντωτή τροχαλία, που είναι στερεωμένη στον άξονα ε, δηλαδή έχουμε την τροχαλία ζ, και έστω ότι η διάμετρος της είναι οχτώ φορές η διάμετρος του άξονα ε, γιατί η δύναμη των σαράντα ταλάντων είναι οχτώ φορές τη δύναμη των πέντε ταλάντων, οπότε η δύναμη στην ζ, που κρατά σε ισορροπία το φορτίο των χιλίων ταλάντων, θα είναι πέντε τάλαντα, όση μας έχει δοθεί. Για να μπορέσει αυτή η δύναμη να ανεβάσει αυτό το φορτίο θα πρέπει να κάνουμε την τροχαλία ζ λίγο μεγαλύτερη ή τον άξονα ε λίγο λεπτότερο. Αν το κάνουμε αυτό, η δύναμη εξισορροπεί το φορτίο. Αν θέλουμε σ' αυτή τη διαδικασία να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες τροχαλίες και άξονες, τότε πρέπει να εφαρμόσουμε τον ίδιο λόγο, γιατί όλοι οι λόγοι πρέπει να ανταποκρίνονται προς το φορτίο, αν θέλουμε η δύναμη να εξισορροπεί το φορτίο, όμως, θα πρέπει να δώσουμε σε όλους τους λόγους μια αύξηση πάνω από τη δύναμη που ισορροπεί το φορτίο. Έτσι μέσα από ένα άξονα που περνά από μια τροχαλία, μπορεί να μετακινηθεί ένα φορτίο με αυτόν τον τρόπο. Αν όμως δε θέλουμε να κάνουμε τις τροχαλίες οδοντωτές, θα πρέπει να τυλίξουμε τα σκοινιά γύρω από τους άξονες και τις τροχαλίες και να κάνουμε την ίδια δουλειά όπως προηγουμένως, γιατί με τον τροχό που κινεί τελευταίος τον πρώτο άξονα, και που αυτός τραβά φορτίο και το μετακινεί. Για να χρησιμοποιήσουμε αυτό το είδος των τροχαλιών και των αξόνων θα πρέπει να έχουμε σταθερές βάσεις που θα πρέπει να έχουν τρύπες μέσα από τις οποίες οι άκρες των αξόνων θα περνούν. Αυτά τα στηρίγματα θα πρέπει να τοποθετηθούν σε μία ασφαλή και σταθερή βάση, όταν ανυψώνεται το φορτίο.

22 Όμως υπάρχει μια καθυστέρηση όταν χρησιμοποιούμε αυτό το εργαλείο και άλλα παρόμοια με μεγαλύτερη δύναμη, γιατί όσο μικρότερη είναι η κινούσα δύναμη σε σχέση με το φορτίο που θέλουμε να μετακινήσουμε, τόσο περισσότερο χρόνο χρειαζόμαστε, έτσι η δύναμη προς τη δύναμη και χρόνος προς χρόνο βρίσκονται στον ίδιο (αντίστροφο) λόγο. Ένα παράδειγμα είναι το εξής: Αφού η δύναμη στην τροχαλία *β* ήταν 200 τάλαντα και μετακίνησε το φορτίο, ένας χρειάζεται 200 τάλαντα και μετακίνησε το φορτίο, ένας χρειάστηκε μια περιστροφή του σκοινιού γύρω από το *α* για ένα τύλιγμα, έτσι ώστε το φορτίο μέσα από την περιστροφή της τροχαλίας *β* μετακινείται κατά μια περιφέρεια του *α*. Αν όμως μετακινείται μέσα από την περιστροφή της τροχαλίας *δ*, η τροχαλία στο *γ* θα πρέπει να μετακινηθεί πέντε φορές για να περιστραφεί μια φορά ο άξονας *α* , γιατί η διάμετρος του *β* είναι πέντε φορές τη διάμετρο του άξονα *γ*. Έτσι πέντε χρόνοι του *γ* ισοδυναμούν με μια του *β*, αν κάνουμε τους αντίστοιχους άξονες και τροχαλίες ίσους ο ένας στον άλλο. Αν όμως όχι, βρίσκουμε μια αναλογία ίση με αυτήν. Η οδοντωτή τροχαλία *δ* μετακινεί το *β* και πέντε περιστροφές του *δ* αντιστοιχούν σε μια περιστροφή του *β*, και τα διακόσια τάλαντα είναι πέντε φορές τα σαράντα τάλαντα. Έτσι ο λόγος της κινούσας δύναμης προς το χρόνο είναι αντίστροφος. Αυτό αποδεικνύεται με πολλαπλούς άξονες και πολλαπλούς τροχούς κατά τον ίδιο τρόπο.

23 Τώρα ας υποθέσουμε ότι θα μετακινήσουμε το ίδιο φορτίο με την ίδια δύναμη με το εργαλείο που ονομάζεται *πολύσπαστο.* Ας ονομάσουμε το βάρος *α*, το σημείο από όπου θα το υψώσουμε ας το ονομάσουμε *β* και η θέση απέναντι του *γ*, όπου υπάρχει το σταθερό στήριγμα προς το οποίο θέλουμε να υψώσουμε το βάρος. Ας υποθέσουμε ότι το πολύσπαστο έχει για παράδειγμα πέντε τροχαλίες και έστω ότι η τροχαλία από την οποία θα σηκώσουμε το φορτίο βρίσκεται στο σημείο *δ*, τότε η δύναμη στο *δ*, που ισορροπεί τα χίλια τάλαντα θα πρέπει να είναι διακόσια τάλαντα˙ η δύναμη που διαθέτουμε είναι μόνο πέντε τάλαντα. Έστω ότι το σκοινί από την τροχαλία *δ* μεταφέρεται στο πολύσπαστο στο σημείο *ε*, και έστω ότι απέναντι του υπάρχει το σταθερό στήριγμα στο *ζ* και έστω ότι σ' αυτό το σταθερό σημείο υπάρχουν πέντε τροχαλίες και στην περιοχή του σημείου *ε* και έστω ότι η τροχαλία που περνά το τελευταίο σκοινί είναι στο *η*, οπότε η δύναμη στο *η* είναι σαράντα τάλαντα. Έστω ότι αυτή η δύναμη έλξης στο σκοινί στο *η* μεταφέρεται σε ένα άλλο πολύσπαστο στο *ϑ* και έστω ότι το σταθερό στήριγμα βρίσκεται στο *κ* και ότι αυτό έλκεται στο *κ*, τότε επειδή το σαράντα είναι οχτώ φορές τα πέντε τάλαντα, αυτό το πολύσπαστο θα πρέπει να έχει οχτώ τροχαλίες, οπότε η δύναμη στο *κ*, που διατηρεί σε ισορροπία τα χίλια τάλαντα θα είναι δύναμη πέντε ταλάντων. Για να υπερισχύει όμως η δύναμη στο *κ* προς το φορτίο, οι τροχαλίες θα πρέπει να είναι περισσότερες από οχτώ˙ τότε η δύναμη θα υπερισχύει προς το φορτίο.



24 Το ότι υπάρχει η καθυστέρηση σε αυτό το εργαλείο, είναι ξεκάθαρο επειδή η διαδικασία λαμβάνει χώρα με τον ίδιο λόγο. Γιατί αν η δύναμη στο *δ*, που είναι διακοσίων ταλάντων, υψώνει το φορτίο από το *β* στο *γ*, αυτό σημαίνει ότι θα τυλιχτούν πέντε σκοινιά γύρω από τις πέντε τροχαλίες κατά το ποσό της απόστασης μεταξύ των σημείων *β* και *γ*, ενώ η δύναμη στο *η* πρέπει να τυλίξει τα πέντε σκοινιά πέντε φορές. Αν τώρα κάνουμε ίσες τις αποστάσεις *βγ* και *εζ*, τότε, ενώ ένα από τα σκοινιά τυλίγεται κατά την απόσταση *βγ*, τυλίγει πέντε σκοινιά κατά την απόσταση *εζ*, γιατί αν το φορτίο κινείται κατά την απόσταση μεταξύ *β* και *γ*, πέντε σκοινιά θα πρέπει να τυλιχτούν κατά την απόσταση *βγ*, ώστε ο χρόνος έχει αναλογία προς τον χρόνο (αντίστροφη) όσο μεταξύ της κινητήριας δύναμης και του μετακινούμενου φορτίου. Έτσι για να μην γίνεται ο αριθμός των σκοινιών πολύ μεγάλος, η απόσταση *εζ* πρέπει να γίνει πέντε φορές το μέγεθος της απόστασης *βγ*, και η *ϑκ* οχτώ φορές το μέγεθος της *εζ*. Σε αυτή τη διαδικασία τα πολύσπαστα ανυψώνονται μαζί.



25 Με τη βοήθεια του μοχλού, μπορεί να μετακινηθεί επίσης το ίδιο φορτίο με την ίδια δύναμη χρησιμοποιώντας μια όμοια διαδικασία. Έτσι έστω ότι το φορτίο βρίσκεται στο σημείο *α* και ότι ο μοχλός είναι το *βγ*, το Υπομόχλιο είναι στο σημείο *δ*. Κινούμε το φορτίο με το μοχλό που είναι παράλληλος με το έδαφος, και έστω ότι *γδ* είναι πέντε φορές η ποσότητα *δβ*. Έτσι η δύναμη στο *γ* που διατηρεί σε ισορροπία τα χίλια τάλαντα θε είναι μόνο διακόσια τάλαντα. Τώρα έστω ένας άλλος μοχλός, δηλαδή ο *εζ*, και τώρα το κεφάλι του μοχλού *ε*, σπρώχνει το *γ* έτσι ώστε με το *ε* κινείται και το *γ* ˙ και έστω ότι το υπομόχλιο είναι στο σημείο *η* και έστω ότι ο μοχλοβραχίονας (*ε*) κινείται προς το *δ*˙ και επιπλέον το *ζη* είναι πέντε φορές το ποσό του *ηε*, τότε η δύναμη στο *ζ* είναι σαράντα τάλαντα. Έστω ότι υπάρχει και ένας άλλος μοχλός, δηλαδή ο *ϑκ* και έσω ότι συνδέομε το σημείο *ϑ* με το σημείο *ζ* και ότι αυτό κινείται προς αντίθετη κατεύθυνση από το *ε*˙ έστω ότι το υπομόχλιο είναι στο σημείο *λ* και ότι *κλ* είναι οχτώ φορές την ποσότητα *λϑ* και ότι αυτό κινείται προς την κατεύθυνση προς την οποία δεν κινείται το *ε*, τότε η δύναμη στο *κ* είναι πέντε ταλάντων και διατηρεί σε ισορροπία το φορτίο, έτσι θα πρέπει να κάνουμε το *κλ* μεγαλύτερο από οχτώ φορές της ποσότητας *ϑλ*. Έτσι αν *κλ* είναι οχτώ φορές η ποσότητα *λϑ*, *ζη* πέντε φορές η ποσότητα *ηε*, και *γδ* μεγαλύτερο από πέντε φορές η ποσότητα *δβ*, τότε η δύναμη θα υπερνικά το φορτίο.

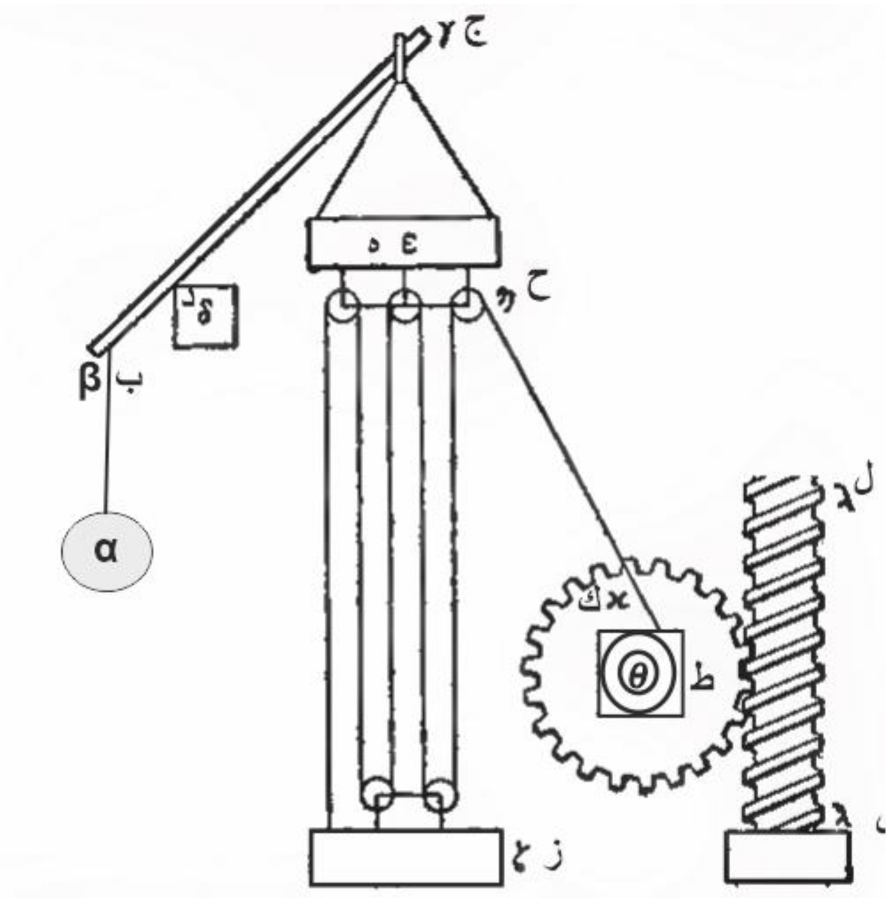
26 Εδώ επίσης, η καθυστέρηση εμφανίζει τον ίδιο λόγο, γιατί δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ αυτών των μοχλών και των αξόνων που περνάνε μέσα από τους τροχούς που κινούνται γύρω από κέντρα. Γιατί οι μοχλοί είναι παρόμοιοι με τους άξονες, καθώς κινούνται γύρω από τα σημεία *δ*, *η*, *λ*, δηλαδή γύρω από τις πέτρες [block]γύρω από τις οποίες περιστρέφονται οι μοχλοί. Οι κύκλοι του άξονα είναι οι κύκλοι που διαγράφονται από τα σημεία *β*, *ε*, *ϑ* και οι τροχοί είναι οι κύκλοι που διαγράφονται από τα σημεία *γ*, *ζ*, *κ*. Όπως έχουμε αποδείξει για αυτούς τους άξονες ότι ο λόγος της δύναμης προς δύναμη είναι (αντίστροφος) προ το χρόνο προς το χρόνο, με τον ίδιο τρόπο το αποδεικνύομε εδώ.

27 Για τη σφήνα και τον κοχλία δε μπορούμε να υποστηρίξουμε αυτόν τον ισχυρισμός, και αυτό γιατί όπως δείξαμε στα προηγούμενα , με αυτά δεν υπάρχει εμπόδιο, αλλά το αντίθετο, όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη με αυτές, τόσο μικρότερη γίνεται η κάθε μια. Ο σκοπός μας όμως ήταν να σκεφτούμε για μηχανές που γίνονται μεγαλύτερες όσο αυξάνει το φορτίο για να μπορέσουμε να εργαστούμε με αυτές με μικρές μηχανές για να γίνει η

εργασία ευκολότερη. Έτσι για τη σφήνα και τον κοχλία δε χρειάζεται κάποιο τεχνούργημα για να μας διευκολύνει στην εργασία με αυτές.

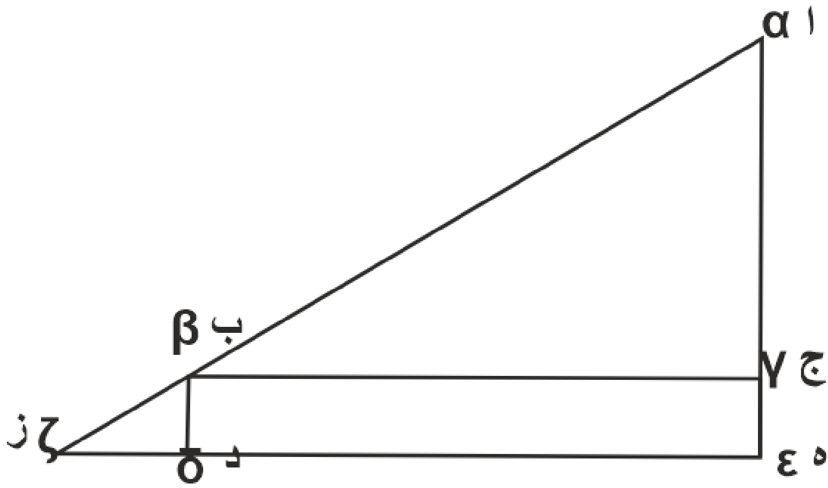
28 Το ότι υπάρχει η καθυστέρηση και σ' αυτές είναι ξεκάθαρο, γιατί περισσότερα χτυπήματα χρειάζονται περισσότερο χρόνο από ένα μόνο χτύπημα και οι πολλές περιστροφές του κοχλία απαιτούν περισσότερο χρόνο από μία περιστροφή. Έτσι αποδείξαμε ότι ο λόγος της γωνίας της σφήνας προς μια γωνία είναι (αντίστροφος) προς το κινητήριο χτύπημα προς χτύπημα. Τότε ο λόγος του χρόνου είναι επίσης (αντιστρόφως) ανάλογος με το λόγο δύναμης προς δύναμη.

29 Στα προηγούμενα μετακινήσαμε το γνωστό φορτίο με πολλούς άξονες με τροχαλίες, με πολλούς συνδυασμένους μοχλούς και με πολλά πολύσπαστα. Όμως μπορούμε να μετακινήσουμε ένα γνωστό φορτίο με μια συνένωση τους και με ένα συνδυασμό των ατομικών περιπτώσεων, εκτός από τη σφήνα, γιατί μόνο αυτή κινείται με χτυπήματα. Ας αποδείξουμε τώρα ότι μπορούμε να ;γ τις τέσσερεις μηχανές και με τη συνένωση τους μπορούμε να μετακινήσουμε ένα γνωστό φορτίο. Έστω ότι το γνωστό φορτίο βρίσκεται στο σημείο *α* και έστω ότι στο σημεία *βγ* υπάρχει ένας μοχλός˙ και έστω ότι το σημείο *β* είναι κάτω από το φορτίο και ότι το ανώτερο σημείο του μοχλού είναι το σημείο *γ* ˙ και έστω ότι το υπομόχλιο είναι το σημείο *δ* και ότι το *γδ* είναι πέντε φορές το <*δβ*>˙ τότε η δύναμη στο *γ* είναι διακόσια τάλαντα, και αυτή κρατά σε ισορροπία το φορτίο *α*. Ας συνδέσουμε το άκρο του μοχλού στο σημείο *γ* με ένα πολύσπαστο που βρίσκεται στο *ε*, και έστω το άλλο άκρο αυτού του εργαλείου να είναι παράλληλα σε αυτό σε μια σταθερή βάση, δηλαδή στο σημείο *ζ*. Το σημείο σύνδεσης αυτού του εργαλείου είναι το σημείο *γ* και έστω ότι αυτό έχει πέντε τροχαλίες˙ τότε η δύναμη της τάσης είναι σαράντα τάλαντα. Έστω τώρα ότι υπάρχει ένα βαρούλκο με ένα τροχό δηλαδή το *ϑκ*˙ και ότι ο άξονας συμβολίζεται με *ϑ*, και ο



τροχός συμβολίζεται με *κ*, και έστω ότι το σκοινί που περνά από τις τροχαλίες τυλίγεται γύρω από τον άξονα. Έστω ότι ο τροχός είναι οδοντωτός και ότι βρίσκεται σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Έστω ένας κοχλίας που εμπλέκεται με τα δόντια του τροχού, έστω ότι ο κοχλίας είναι *λ*, και υπάρχει μια λαβή που τον θέτει σε περιστροφή. Αν θέσουμε τη λαβή *μ* σε περιστροφή, ο κοχλίας *λ* περιστρέφεται, και ταυτόχρονα με τον κοχλία περιστρέφεται ο τροχός *κ*˙ και με την περιστροφή του περιστρέφεται και ο άξονας ,τυλίγεται το νήμα που περνά από τις τροχαλίες, πιέζεται προς τα κάτω ο μοχλοβραχίονας στο *γ*, και το φορτίο ανυψώνεται. Έστω ότι η διάμετρος του τροχού *κ* είναι τέσσερις φορές τη διάμετρο του άξονα *ϑ*, έτσι ώστε αν η δύναμη στο *κ* είναι δέκα τάλαντα, τότε αν η διάμετρος του οδοντωτού τροχού είναι διπλάσια από τη διάμετρο του κυλίνδρου του κοχλία, τότε η δύναμη που ισορροπεί τα χίλια τάλαντα, θα είναι πέντε τάλαντα. Αν όμως προεκτείνουμε λίγο τη λαβή στο σημείο *μ*, τότε η δύναμη των πέντε ταλάντων επικρατεί. Τελικά προσαρμόζουμε τον τροχό με τον άξονα και τον κοχλία στο να στερεωθεί σε ένα πλαίσιο ενός είδους κουτιού, έτσι ώστε τα άκρα του άξονα να ακουμπούν στα κάθετα τοιχώματα του πλαισίου, το κάτω άκρο του κοχλία να περιστρέφεται στο κάτω μέρος του πλαισίου και το άνω άκρο του στο κέντρο του άνω επιπέδου. Κάποιος κάνει αυτό το άκρο τετράγωνο και προσαρτά σε αυτό έναν δίσκο στον οποίο έχει τοποθετηθεί η ακτίνα. Αφήστε αυτό το σταθερό πλαίσιο που μοιάζει με κουτί να βρίσκεται σε ένα συμπαγές, καλά θεμελιωμένο μέρος ισχυρής σταθερότητας. Όταν η λαβή περιστρέφεται, το φορτίο υψώνεται.

30 Για τη σφήνα και τον κοχλία, προχωράμε με την ακόλουθη διαδικασία. Έστω ότι η γωνία της σφήνας που θέλουμε να κάνουμε ότι είναι η *αβγ*, δηλαδή μια οξεία γωνία. Τότε λέγω ότι οι σφήνες, των οποίων οι γωνίες είναι οξύτερες, μετακινούν το φορτίο με λιγότερα χτυπήματα, δηλ. με μικρότερη δύναμη, και μπορεί να γίνουν τόσο μικρές που δε θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαιτίας της άκρης τους. Ας σχεδιάσουμε μια γραμμή κάθετη προς την *βγ*, δηλαδή την *βδ*, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σφήνα. Επιπλέον μια παράλληλη προς τη *βγ*, δηλαδή η *δε*˙ ας σχεδιάσουμε στο σημείο *ε* μια ορθή γωνία δηλαδή την *εγ*, και μπορεί κάποιος να κατασκευάσει μια σφήνα, όπως αυτή προσδιορίσαμε δηλαδή την *αβδε*. Ας σπρώξουμε την πλευρά *βδ* έτσι ώστε ένα μικρό της τμήμα να βρίσκεται κάτω από το φορτίο, και η κεφαλή της είναι *αε*, βλέπομε ότι αν σπρωχτεί η σφήνα *αβγ*, σπρώχνει και την *αβδε*.



Απόδειξη. Αν προεκτείνουμε τις δύο ευθείες *αβ* και *δε* προς το *ζ*, τότε η γωνία *αζε* γίνεται ίση με τη γωνία *αβγ*˙ έτσι η, *αζε* είναι επίσης η σφήνα που μπορεί να μετακινηθεί με την ίδια δύναμη. Ας φανταστούμε τώρα ότι το τμήμα της που βρίσκεται στο *βζδ* είναι κάτω από το φορτίο, τότε η σφήνα έχει σπρωχτεί. Αυτή είναι η απόδειξη για τη σφήνα. Όμως δεν είναι απόλυτα αναγκαίο να χρησιμοποιήσουν οξείες γωνίες στις σφήνες, γιατί μόλις αποδείξαμε ότι ακόμη και μικρά χτυπήματα μπορούν να μετακινήσουν κάθε σφήνα, αν έχουμε πάρα πολλά χτυπήματα. Έτσι δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούμε μικρές γωνίες στη σφήνα.

31. Δεν μπορούμε να προχωρήσουμε με τον ίδιο τρόπο με τον κοχλία. Επομένως πρέπει να στερεώσουμε στη γωνία της αυλάκωσης του κοχλία, δηλαδή στο *αβγ*, μια κάθετη *αγ* στο *βγ*, ίση με το πάχος του Τύλου που θέλουμε να εμπλέκεται με το σπείρωμα του κοχλία, και να κάνουμε έναν κύλινδρο, του οποίου η περιφέρεια ισούται με γραμμή *βγ*. Ας κατασκευάσουμε τώρα από αυτές τις γραμμές ένα νήμα κοχλία ύψους *αγ* και ας προχωρήσουμε να δημιουργήσουμε την αυλάκωση του κοχλία, της οποίας ο χώρος είναι ίσος με τη γραμμή *αγ*, τότε μπορούμε, σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, να προσαρμόσουμε αυτό το [κομμάτι] ξύλο στο σπείρωμα του κοχλία.

32 Δεδομένου ότι μόλις αποδείξαμε για κάθε μία από τις επιμέρους απλές μηχανές ότι με μια δεδομένη δύναμη μπορεί να μετακινηθεί ένα δεδομένο φορτίο, πρέπει να προσθέσουμε ότι, εάν όλες οι μηχανές που θα κατασκευαστούν μπορούσαν να περιστρέφονται όντας όλα τους λεία και πλανισμένα, κομμένα σε ομοιογενές υλικό και με

απόλυτα ακριβείς διαστάσεις, θα ήταν επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθούν αυτές οι μηχανές για τις εργασίες για τις οποίες μιλήσαμε, διατηρώντας τις αναλογίες που υποδεικνύονται Επειδή, ωστόσο, δεν είναι δυνατό για τους ανθρώπους να τα φτιάξουν με τέλεια ομαλότητα και χωρίς τριβή, πρέπει να αυξήσουμε τις δυνάμεις λόγω της τριβής των μηχανών που συμβαίνει και να τις διευρύνουμε, κατασκευάζοντάς τις σε μεγαλύτερη κλίμακα από ό,τι σύμφωνα με τις αναλογίες που έχουμε αναφέρει. Αυτό εμποδίζει αυτές τις ατέλειες να εμποδίσουν την κίνηση και να αποτρέψουν την αντίθεση της εμπειρίας σε αυτό που έχει αποδειχθεί.

33 Είναι πλέον απολύτως απαραίτητο για όσους ασχολούνται με την επιστήμη της μηχανικής να γνωρίζουν τις αιτίες που ισχύουν στη χρήση κάθε κίνησης, όπως έχουμε εξηγήσει για την ανύψωση βαρέων αντικειμένων με φυσικές αποδείξεις, και εκθέτουμε όλα όσα συμβαίνουν με κάθε μία από τις απλές μηχανές που αναφέρθηκαν, έτσι ώστε να μην συμβεί τίποτα αναπόδεικτο γι' αυτές για το οποίο έχουν αμφιβολίες, αλλά η αλήθεια για καθεμία από αυτές που αναφέραμε να γίνει ξεκάθαρη γι' αυτούς, όταν κοιτάζουν προσεκτικά κάθε έργο τους.

Τώρα θέλουμε να μιλήσουμε για πράγματα που ήδη είπαν οι αρχαίοι, λόγω της χρησιμότητας που έχουν σε αυτό το κεφάλαιο, και θα εκπλαγούμε με τα πράγματα που, όταν τα αποδείξουμε, θα είναι αντίθετα με αυτά που γνωρίζαμε πιο πριν. Η αρχή για τα πράγματα που πρόκειται να ερευνήσουμε, την αντλούμε από ό,τι είναι ξεκάθαρο για εμάς. Τα πράγματα για τα οποία μπορούμε να μιλήσουμε μόνο μετά από τα πιο ξεκάθαρα αντικείμενα θα αυξήσουν, ωστόσο, την έκπληξή μας όταν δούμε ότι τα πράγματα που εφαρμόζουμε είναι αντίθετα με αυτά που έχουμε συνηθίσει και ό,τι ήταν σίγουρο για εμάς. Είναι πλέον σαφές ότι όποιος θέλει να βρει τις αιτίες διεξοδικά, πρέπει απαραίτητα να εφαρμόσει φυσικές αρχές, είτε μία είτε περισσότερες, και πρέπει να συνδέσει όλα όσα ερευνά με αυτές και ότι η λύση κάθε μεμονωμένης ερώτησης δίνεται θεμελιωδώς, εάν Η αιτία έχει βρεθεί και αυτό είναι κάτι που έχουμε ήδη καταλάβει.

Ας ισχύει τώρα για εμάς η αρχή ότι το ελαφρύ [αντικείμενο] μετακινείται εύκολα, το βαρύ είναι δύσκολο να κινηθεί και ότι το ίδιο φορτίο μπορεί πιο εύκολα να μετακινηθεί με μεγαλύτερη δύναμη παρά με μικρότερη. γιατί το ένα προκύπτει από το άλλο και είναι σαφές και προφανές σε εμάς˙ Πρέπει να γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι σε κάθε ερώτηση υπάρχει κάτι σκοτεινό, όχι προφανές, γιατί σχεδόν ποτέ δεν τίθεται ζήτημα για οτιδήποτε του οποίου η αιτία είναι ξεκάθαρη και ξεκάθαρη.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όλα τα ερωτήματα που προκύπτουν στη μηχανική, και στα οποία υπάρχει σκοτάδι σχετικά με την αιτία, προκύπτουν από το γεγονός ότι δεν μπορούμε να δούμε πόσο βαριά σώματα κατανέμονται μεταξύ των δυνάμεων που τα κινούν˙ αυτός ο λόγος γίνεται φανερός μέσα από πολλές περιστάσεις, ιδιαίτερα, ωστόσο, από την κίνηση αυτών των σωμάτων. Διότι ένα σώμα που ένας άνθρωπος δεν το κινεί ή το οποίο, αν κάποιος το κινήσει, γίνεται πολύ βαρύ γι' αυτόν, κινείται από αρκετούς άντρες και είναι εύκολο γι' αυτούς να το μετακινήσουν.

Αν ίσχυε ότι όλο το φορτίο που θα μετακινηθεί ήταν σε κάθε άτομο από αυτά που το μετακινούσαν, τότε δεν θα υπήρχε διαφορά στην κίνηση, μεταξύ της κίνησης του ατόμου και της κίνησης του συνόλου. Βλέπουμε, ωστόσο, ότι η κίνηση είναι πιο εύκολη για το σύνολο. Και αφού μέρος του φορτίου πέφτει σε κάθε άτομο της ολότητας και η κίνηση γίνεται εύκολη γι' αυτούς, είναι σαφές ότι το φορτίο κατανέμεται μεταξύ αυτών που το φέρουν.

34 Ερωτήσεις.
α. Γιατί τα βαγόνια με δύο τροχούς μεταφέρουν τα φορτία πιο εύκολα από τα βαγόνια με τέσσερις τροχούς;

Επειδή το φορτίο στα βαγόνια με δύο τροχούς κατανέμεται σε δύο ίσα μέρη και στις δύο πλευρές του άξονα. Αυτό δεν ισχύει για βαγόνια με τέσσερις τροχούς, το φορτίο δεν μπορεί να κατανεμηθεί με τρόπο ώστε τα δύο μέρη του να είναι ίσα και στις δύο πλευρές, αλλά ολόκληρο το φορτίο βρίσκεται μπροστά από τους πίσω τροχούς και πίσω από τους μπροστινούς τροχούς και η διαφορά στη θέση καθορίζει την ταχύτητα της κίνησης στους τροχούς, γιατί ο τροχός έχει μόνο γρήγορη κίνηση, αφού το φορτίο του ακουμπά εξίσου σε όλα του τα μέρη.

β. Γιατί είναι δύσκολο το τράβηγμα ενός βαγονιού στην άμμο για τα ζώα που το σύρουν;

Επειδή μέρος της καμπυλότητας των τροχών βρίσκεται στο αυλάκι της άμμου και, όταν τραβιέται το βαγόνι, η άμμος, που είναι μπροστά από τον τροχό, τον πιέζει. Επιπλέον είναι δύσκολο γιατί τα πόδια των ζώων μπαίνουν στην άμμο και είναι δύσκολο να τα βγάλουν έξω. Αυτό, ωστόσο, δεν συμβαίνει σε σκληρό έδαφος.

γ. Γιατί το ίδιο βάρος προκαλεί διαφορετική κλίση σε ζυγούς που βρίσκονται σε ισορροπία, με τρόπο που υπάρχει μεγαλύτερη κλίση με μικρότερο φορτίο;

Αν κάποιος έχει, για παράδειγμα, δύο δίσκους της ζυγαριάς με τρεις μνες στον κάθενα, και βάλουμε άλλη μισή δική μου σε ένα από τους δύο, τότε αυτός ο δίσκος κλίνει πολύ έντονα. Αν, όμως, υπάρχουν δέκα μνες σε κάθε ένα από τους δίσκους και προσθέσουμε μισή μνα σε ένα από τους δίσκους, τότε η κλίση της δοκού είναι πολύ μικρή. Επειδή η πρώτη περίπτωση δείχνει ότι το φορτίο κινείται με μεγάλη δύναμη, οι τρεις μνες κινούνται κατά το ίδιο συν το ένα έκτο του φορτίου˙ οι δέκα μνες όμως κινούνται κατά το ίδιο συν το ένα εικοστό του. Για τον ένα δίσκο μισή μνα είναι το εικοστό του δέκα, αλλά το ένα έκτο από τις τρεις μνες, και το φορτίο που κινείται από τη μεγαλύτερη δύναμη είναι ευκολότερο να μετακινηθεί.

δ. Γιατί τα μεγάλα φορτία πέφτουν στο έδαφος σε συντομότερο χρόνο από τα ελαφρύτερα;

Επειδή, όπως ισχύει για αυτούς ότι μπορούν να μετακινηθούν πιο εύκολα εάν η δύναμη που τους κινεί από έξω είναι μεγαλύτερη, κινούνται επίσης πιο γρήγορα, εάν η δύναμη μέσα τους είναι μεγαλύτερη. Η δύναμη και η έλξη είναι, ωστόσο, μεγαλύτερες για το μεγαλύτερο φορτίο σε φυσικές κινήσεις παρά για το μικρότερο φορτίο.

ε. Γιατί το ίδιο βάρος, αν είναι πεπλατυσμένο, πέφτει πιο αργά στο έδαφος παρά αν είναι σφαιρικό;

Όχι επειδή, όπως πιστεύουν ορισμένοι, το φαρδύ στο πλάτος του συναντά πολύ αέρα, το σφαιρικό, ωστόσο, επειδή τα μέρη του συγχωνεύονται μεταξύ τους, συναντά μόνο λίγο αέρα, αλλά επειδή το φορτίο που πέφτει με τη πεπλατυσμένη πλευρά έχει πολλά μέρη, καθένα από τα οποία, ανάλογα με το πλάτος του, προέρχεται από ένα μέρος της δύναμης, έτσι ώστε στην κίνηση αυτού του φορτίου κάθε μέρος του δέχεται λίγη από την κινούμενη δύναμη ανάλογα με το βάρος του, αλλά η δύναμη δεν επιδρά με ένα ομογενή τρόπο.

στ: Γιατί το βέλος που εκτοξεύεται από τη μέση της χορδής διανύει μεγάλη απόσταση;

Γιατί η ένταση είναι τότε μεγαλύτερη: εξ ου και η δύναμη της ώθησης μεγαλύτερη. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα τόξα είναι κατασκευασμένα από κέρατο, ώστε να είναι δυνατή η κάμψη τους˙ όταν είναι έντονα λυγισμένα, το κορδόνι που φέρει το βέλος είναι πολύ τεντωμένο και αποκτά σημαντική δύναμη που εκτοξεύει το βέλος σε μεγάλη απόσταση. Αντίθετα, τα σκληρά τόξα, των οποίων τα άκρα δεν προσφέρονται για κάμψη, στέλνουν το βέλος σε μικρότερη απόσταση.

ζ. Γιατί το ξύλο μπορεί να σπάσει πιο γρήγορα εάν το γόνατο κάποιου χτυπήσει στο κέντρο του;

Διότι, αν το γόνατο κάποιου φέρεται σε μικρότερη απόσταση (από το ένα άκρο) από το κέντρο, έτσι ώστε το ένα από τα δύο μέρη να είναι πιο κοντό από το άλλο, τότε είναι μια ισορροπία χωρισμένη σε δύο άνισα μέρη, γι' αυτό το χέρι που είναι πιο μακριά από το γόνατο έχει το μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με αυτό που βρίσκεται πιο κοντά του. Το ένα φτάνει, ωστόσο, στη δύναμη του άλλου μόνο όταν και τα δύο βρίσκονται στην άκρη του [κομματιού] ξύλου (σε ίση απόσταση από το κέντρο).

η. Γιατί είναι ένα κομμάτι ξύλου, όσο μακρύτερο είναι τόσο πιο αδύναμο και γιατί αυξάνεται η κάμψη του όταν σηκώνεται σε ένα από τα δύο άκρα του;

Επειδή στο μακρύ [κομμάτι] ξύλο κατανέμεται μεγάλη δύναμη στα μέρη του, έτσι ώστε το σύνολο να έχει το ανώτερο βάρος από το συμπαγές μέρος του, πάνω στο οποίο υψώνεται. Επομένως, εδώ συμβαίνει το ίδιο φαινόμενο όπως σε ένα κοντό [κομμάτι] ξύλο, όταν από τα άκρα του αιωρείται κάτι που το πιέζει προς τα κάτω. Έτσι, η αύξηση του μήκους του [κομματιού] ξύλου αντιστοιχεί στο βάρος που τραβάει προς τα κάτω το μικρότερο [κομμάτι] ξύλου. Επομένως, το ίδιο [πράγμα] συμβαίνει με το μακρύ [κομμάτι] ξύλο, λόγω του μήκους του, όπως [συμβαίνει] με το κοντό [κομμάτι] ξύλου, όταν κάτι βαρύ είναι δεμένο στην άκρη του.

θ: Γιατί είναι ένα ραβδί τόσο πιο αδύναμο όσο πιο μακρύ είναι και τόσο πιο εύκαμπτο τόσο πιο λεπτό γίνεται σε ένα από τα άκρα του

— Επειδή το μακρύ ραβδί υφίσταται τη δράση πολλαπλών δυνάμεων που κατανέμονται μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων του και των οποίων το άθροισμα υπερβαίνει το αντίσταση του σταθερού τμήματος από το οποίο στηρίζεται. Εδώ συμβαίνει το ίδιο όπως στην περίπτωση ενός κοντού ραβδιού στην άκρη του οποίου αιωρείται κάτι που τείνει να το χαμηλώσει. Η αύξηση του μήκους του ραβδιού παίζει τον ίδιο ρόλο με αυτό το βάρος που πιέζει το κοντό ραβδί. Το μακρύ ραβδί στηρίζει μόνο του, λόγω του μήκους του, την ίδια δράση με το κοντό ραβδί στην άκρη του οποίου κρεμάμε ένα βαρύ σώμα.

ι. Γιατί κάποιος χρησιμοποιεί πένσα όταν τραβάει δόντια και όχι το χέρι;

Επειδή δεν μπορούμε να πιάσουμε το δόντι με ολόκληρο το χέρι, αλλά μόνο με ένα μέρος του. Και όπως είναι πιο δύσκολο για εμάς να σηκώσουμε ένα βάρος μόνο με δύο δάχτυλα, παρά με ολόκληρο το χέρι, έτσι είναι επίσης πιο δύσκολο για εμάς να πιάσουμε το δόντι με δύο δάχτυλα και να πιέσουμε, παρά με ολόκληρο το χέρι. Και στις δύο περιπτώσεις η δύναμη είναι η ίδια αλλά η διαίρεση της πένσας στο νύχι του κάνει το χέρι να έχει μεγαλύτερη δύναμη από το δόντι˙ γιατί είναι ένας μοχλός, στο μεγαλύτερο μέρος του οποίου βρίσκεται το χέρι, και ο χώρος της πένσας διευκολύνει την κίνηση του δοντιού. Για τη ρίζα του δοντιού είναι αυτή γύρω από την οποία κινείται ο μοχλός. Επειδή όμως ο χώρος της πένσας είναι μεγαλύτερος από τη ρίζα του δοντιού, γύρω από την οποία κινείται κάτι μεγάλο, το χέρι υπερτερεί της δύναμης που ακουμπά στη ρίζα του δοντιού. Διότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ της κίνησης ενός βάρους και της κίνησης μιας δύναμης που ισούται με αυτό το βάρος. Διότι εάν κλείσουμε το χέρι αφού τεντωθεί, τότε εμφανίζεται αντίσταση, όχι λόγω του βάρους του χεριού, αλλά λόγω της δύναμης με την οποία οι μύες προσκολλώνται μεταξύ τους.

ια. Γιατί οι ζυγαριές, είτε φορτωμένες είτε όχι, μπορούν να μετακινηθούν πιο γρήγορα αν τις γυρίσει κανείς (οριζόντια) παρά αν μετακινηθεί προς τη μία πλευρά, προς την οποία τα κλίνει;

Διότι, όταν τις γυρίζει κανείς, το βάρος τους παραμένει τοποθετημένο παρόμοια και ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, έτσι ώστε να περιστρέφεται γύρω από ένα κέντρο, δηλαδή το σημείο ανάρτησης. Αν όμως τραβήξουμε την ζυγαριά προς τη μία από τις δύο πλευρές, τότε σηκώνουμε ένα φορτίο, γιατί η πτώση του ενός δίσκου μίας ζυγαριάς σπρώχνει τον άλλο προς τα πάνω, έτσι ώστε η κίνησή της να μην είναι φυσική, εννοώ την κίνηση προς τα πάνω ενός φορτίου˙ γιατί η φυσική κίνηση είναι εύκολη, δηλαδή η έλξη προς τα κάτω ενός βάρους. Επομένως, είναι πιο εύκολο να τραβήξετε τα βάρη προς τα κάτω παρά να τα σηκώσετε προς τα πάνω.

ιβ. Γιατί είναι εύκολο να μετακινήσουμε αναρτημένα βάρη;

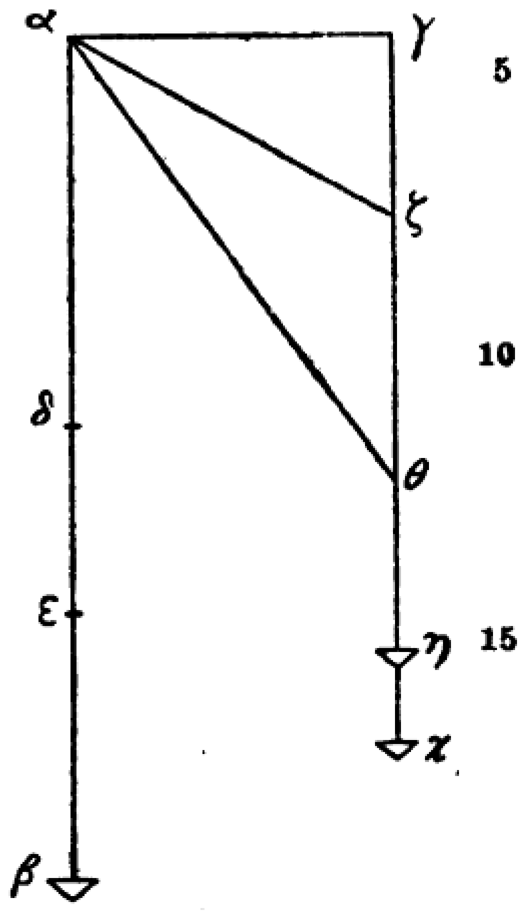
Γιατί ολόκληρη η δύναμη του αναρτημένου βάρους εξισορροπείται από τη δύναμη με την οποία αναρτάται. Έτσι εφόσον δεν έχει απομείνει μεγάλη δύναμη, είναι εύκολο να τα σπρώξουμε. Το ίδιο βλέπουμε και στις ζυγαριές˙ όταν είναι κρεμασμένες και τις τραβήξουμε κινούνται πολύ εύκολα.

ιγ. Γιατί οι τετράγωνες πέτρες [τετράγωνα] σημαντικού μεγέθους που βρίσκονται στην ακτή της θάλασσας είναι κυρίως στρογγυλές;

Γιατί ήταν πρώτα αιχμηρά, αλλά μέσα από την κίνηση της θάλασσας η μία προσκρούει στην άλλη, έτσι ώστε οι άκρες να σπάνε το ένα πάνω στο άλλο λόγω της αδυναμίας τους.

ιδ. Γιατί είναι πιο δύσκολο να μετακινήσει κανείς τα αιωρούμενα φορτία που θέλει να μετακινήσει, όσο πιο πολύ απομακρύνει το χέρι του από αυτά, μέχρι να φτάσει στο σταθερό στήριγμα από το οποίο αιωρούνται ή να το πλησιάσει;

Γιατί, αν θέλουμε να τα μετακινήσουμε στο σταθερό μέρος από το οποίο είναι αναρτημένα, αυτό είναι πολύ δύσκολο για εμάς και εντελώς αδύνατο. Αλλά αν το χέρι απομακρύνεται από το σταθερό στήριγμα, τότε το βάρος μετακινείται, αν και με δυσκολία, δηλαδή επειδή είναι ακόμα πολύ κοντά στο σημείο όπου η κίνηση σταματά εντελώς. Ωστόσο, όσο περισσότερο απομακρύνεται ο μετακινούμενος από τη σταθερή στήριξη, τόσο πιο εύκολη γίνεται η μετακίνηση γι' αυτόν. Ας φανταστούμε, για παράδειγμα, τη σταθερή στήριξη από την οποία αναρτάται το φορτίο στο σημείο *α* και ας είναι το σχοινί η γραμμή *αβ*. Ας σχεδιάσουμε τώρα την ευθεία *αγ*



κάθετη στην *αβ* και ας υποθέσουμε στην ευθεία *αβ* δύο τυχαία τοποθετημένα σημεία, *δ* και *ε*, και τραβήξουμε το σχοινί στο σημείο *δ* και μετά το σταματήσουμε, μέχρι να πάρει τη μορφή *αζη*. Τότε το φορτίο είναι στο *η*. Τώρα λέω ότι το *η* βρίσκεται ψηλότερα από το *β*.

Απόδειξη. Εάν επεκτείνουμε τη γραμμή *ηζ* προς το *γ*, τότε, καθώς το *αζη* είναι μεγαλύτερο από το *γζη*, το σημείο *η* είναι υψηλότερο από το σημείο *β*. Αφήστε περαιτέρω το σχοινί που θα το σφίξετε στο σημείο *ε* να έχει θέση κάθετη στο *αγ* έτσι ώστε το φορτίο να βρίσκεται ξανά στην ίδια θέση, δηλαδή στην ίδια με το *αβ*. Επειδή τώρα το *αε* είναι μεγαλύτερο από το *αζ*, το *ε* θα παραμείνει χαμηλότερο από το *ζ*, περίπου στο *ϑ*. Αν τώρα τραβήξουμε το *αϑ* τότε το *αβ* σπάει προς το *αϑη*. Τώρα λέω ότι το αιωρούμενο βάρος είναι χαμηλότερο από το *η*.
Απόδειξη. Εφόσον το *αζ* συν *ζϑ* είναι μεγαλύτερο από το *αϑ*, τότε, εάν το *ηϑ* προστεθεί και στις δύο πλευρές, το *αζ* συν *ζη*, δηλ. *αβ*, είναι μεγαλύτερο από (*αϑ* + <*ϑη*). Έστω τώρα (*αϑ* + *ϑκ*) ίσο με *αβ*, τότε το φορτίο έρχεται στο *κ* και το *κ* βρίσκεται χαμηλότερα από *η*. Έτσι, αν τραβήξουμε το φορτίο από το *ε*, έρχεται στο *κ*˙ αν το τραβήξουμε όμως από το σημείο *δ*, τότε φτάνει στο *η*, ώστε το φορτίο να σηκωθεί ψηλότερα από το σημείο *δ* παρά από το σημείο *ε*. Το φορτίο, ωστόσο, που ανυψώνεται σε υψηλότερο σημείο, καταπονεί τη δύναμη περισσότερο από αυτό που ανυψώνεται σε χαμηλότερο σημείο, γιατί αυτό που ανυψώνεται σε υψηλότερο σημείο απαιτεί περισσότερο χρόνο.

ιε. Γιατί τα αντικείμενα που επιπλέουν στο νερό έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα αν βρίσκονται μόνο στη μία πλευρά;

Επειδή το μέρος πάνω από το νερό είναι πολύ ελαφρύ, έτσι ώστε το νερό που το στηρίζει είναι επίσης πολύ λίγο και ο άνεμος που το χτυπά έχει μεγαλύτερη δύναμη από το νερό που αντιστέκεται στην κίνησή του.

ιστ. Γιατί το πηδάλιο, αν και είναι πολύ μικρό, εκτρέπει τα μεγάλα πλοία;

Γιατί ένας άνθρωπος που τρέχει και τον τραβάει κάποιος σε οποιαδήποτε πλευρά, γυρίζει γρήγορα προς εκείνη την πλευρά. Το πηδάλιο όμως στηρίζεται από το νερό, έτσι ώστε να έχει μεγαλύτερη αντοχή από το πλοίο.

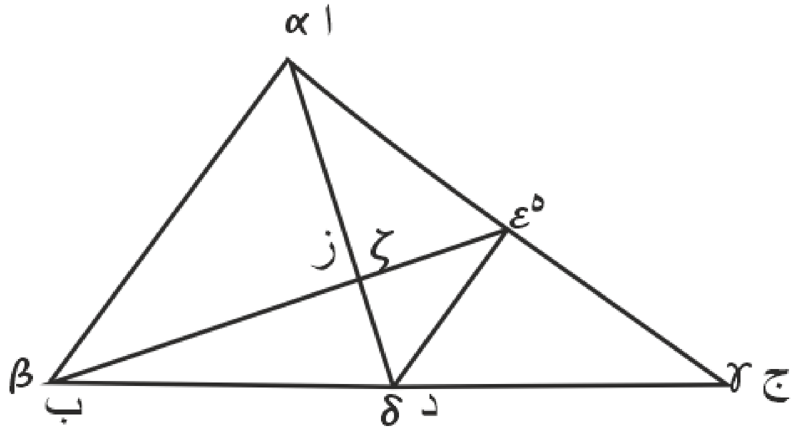
ιζ. Γιατί τα βέλη διεισδύουν σε θώρακες και πανοπλίες αλλά όχι σε απλωμένο ύφασμα;

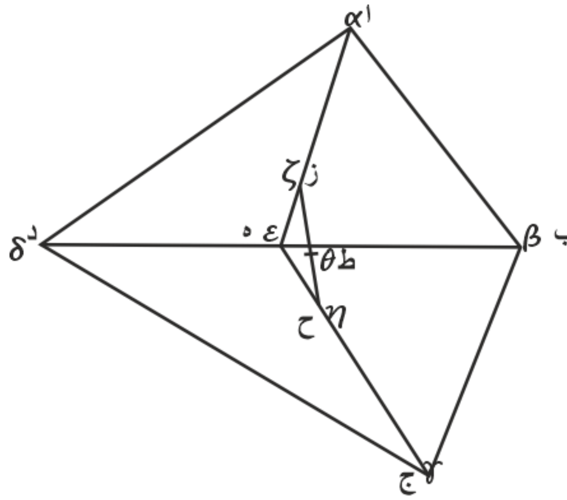
Γιατί το όπλο, όταν χτυπά ένα αντικείμενο που του δίνει τη θέση του και δεν του προσφέρει αντίσταση, δεν έχει μεγάλο αποτέλεσμα, αφού η ταχύτητα και το μέγεθος της δύναμης διασπάται όταν χτυπάει ένα υποχωρητικό και μη ανθεκτικό αντικείμενο. Εάν, ωστόσο, κάτι σκληρό χτυπήσει κάτι εξίσου δυνατά και του δώσει ένα χτύπημα, τότε το σκληρό αντικείμενο δεν υποχωρεί και προσφέρει αντίσταση, ώστε να μην διασπαστεί τίποτα από τη δύναμη, αλλά η πρόσκρουση είναι ισχυρή. Για τον ίδιο λόγο δεν υπάρχει ζημιά σε όσους πέφτουν στο νερό από μεγάλη απόσταση.

ιη. Γιατί τα υγρά που είναι βαριά στη φύση κινούνται γρήγορα με ευκολία;

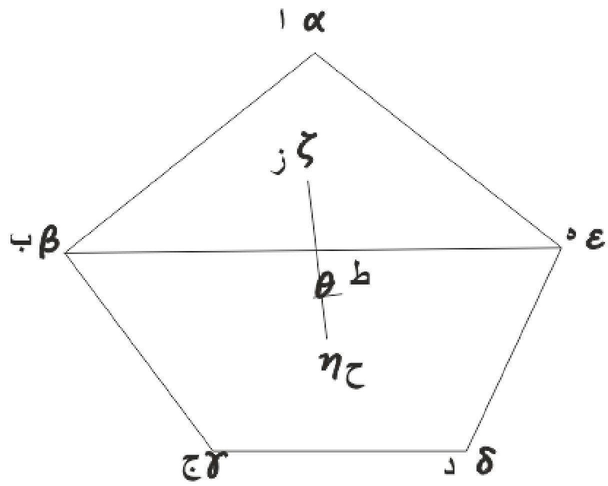
Γιατί βλέπουμε ότι ένας άνθρωπος κινεί χίλια Kist νερού ταυτόχρονα. Επειδή το νερό είναι ένα ομοιογενές αντικείμενο, του οποίου τα μέρη μπορούν, ωστόσο, να διαχωριστούν γρήγορα. Επομένως δεν έχει καμία σταθερότητα από μόνο του αλλά ρέει προς τα κάτω. Αυτός είναι ο λόγος που μετακινούμε μόνο ένα μικρό μέρος του και τα υπόλοιπα τμήματα κλίνουν προς το μέρος όπου έχει φερθεί το μικρό μέρος του.

35 Τώρα πρέπει ακόμα να εξηγήσουμε κάποια πράγματα που χρειαζόμαστε για το τράβηγμα και την πίεση, αλλά όχι του είδους που αναφέρεται στο τελευταίο βιβλίο, μάλλον, μεγαλύτερης σημασίας από αυτά, πράγματα που ο Αρχιμήδης και άλλοι έχουν ήδη διευκρινίσει. Πρώτα τώρα θέλουμε να δείξουμε πώς βρίσκει κανείς το κέντρο βάρους ενός ομοιόμορφα παχύ και βαρύ τριγώνου. Έστω ότι δίνεται ένα τρίγωνο, το τρίγωνο *αβγ* και ας χωρίσουμε την ευθεία *βγ* στο σημείο *δ* σε δύο μισά και να συνδέσουμε τα δύο σημεία *α*, *δ*. Αν τώρα τοποθετήσουμε το τρίγωνο στην ευθεία *αδ*, τότε αυτό δεν κλίνει προς καμία πλευρά, γιατί τα τρίγωνα *αβδ* και *αδγ* είναι ίσα (σε εμβαδό). Εάν διαιρέσουμε περαιτέρω την ευθεία *αγ* στο σημείο *ε* που είναι στη μέση της, και συνδέσουμε τα δύο σημεία *β*, *ε*, στη συνέχεια βάλουμε το τρίγωνο στην ευθεία *βε*, τότε δεν κλίνει προς καμία πλευρά. Δεδομένου ότι τώρα το τρίγωνο, όταν τοποθετηθεί σε καθεμία από τις δύο ευθείες *αδ* και *βε*, είναι σε ισορροπία σε όλα του τα μέρη και δεν κλίνει προς καμία πλευρά, τότε το κοινό σημείο τομής είναι το κέντρο αυτού του βάρους, δηλαδή το σημείο *ζ*. Πρέπει, ωστόσο, να φανταστούμε το σημείο *ζ* στο μέσο του πάχους του τριγώνου *αβγ*. Τώρα αποδεικνύεται ότι αν συνδέσουμε τα δύο σημεία *α*, *δ* και διαιρέσουμε τη γραμμή *αδ* στο σημείο *ζ* σε δύο μέρη με τρόπο που ένα από αυτά, δηλαδή *αζ*, να είναι διπλάσιο από το ποσό του *δζ*, αυτό το σημείο *ζ* είναι το κέντρο βάρους˙ γιατί αν συνδέσουμε τα δύο σημεία *δ*, *ε*, τότε η ευθεία *αβ* είναι παράλληλη με την ευθεία *δε*, αφού οι δύο ευθείες *αγ* και *βγ* διχοτομήθηκαν στα σημεία *δ* και *ε*. Τότε το *αγ* σχετίζεται με το *γε* όπως το *αβ* με το *εδ (αγ* / *γε* =*αβ* /*εδ)*. Το *αγ* είναι, ωστόσο, διπλάσιο από το ποσό του *γε*. Συνεπώς, το *αβ* είναι διπλάσιο από το *εδ*. Επιπλέον, το *αβ* σχετίζεται με το *εδ* όπως το *αζ* στο *δζ (αβ/ εδ* =*αζ* /*δζ)*. Συνεπώς, το *αζ* είναι διπλάσιο από το *ζδ*, επειδή τα δύο σχήματα *αβζ* και *δζε* είναι όμοια μεταξύ τους και ίσα στις γωνίες τους.





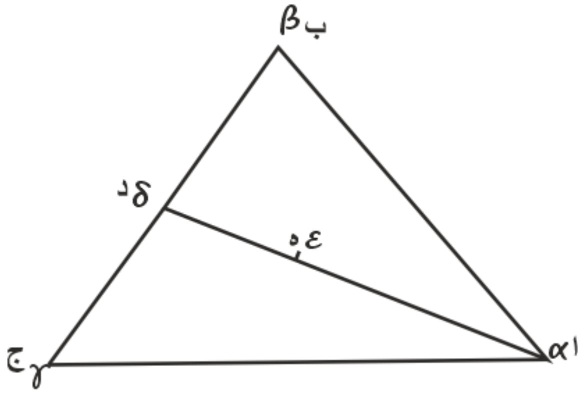
36 Θέλουμε να βρούμε το ίδιο για το τετράπλευρο. Έστω λοιπόν το δεδομένο τετράπλευρο *αβγδ*. Ας σχεδιάσουμε το *βδ* και ας το διχοτομήσουμε στο σημείο *ε*, ας συνδέσουμε τα δύο σημεία *α*, *ε* και *ε*, *γ* αντίστοιχα και διαιρούμε τις συνδετικές γραμμές στα σημεία *ζ*, *η*, έτσι ώστε το *αζ* να είναι διπλάσιο από το *ζε (αζ* =2 *ζε)* και το *γη* διπλάσιο από το *ηε*, τότε το κέντρο βάρους του τριγώνου *αβδ* είναι στο *ζ* και το κέντρο βάρους του τριγώνου *βδγ* στο σημείο *η* και δεν βρίσκουμε διαφορά, αν φανταστούμε ολόκληρο το βάρος του τριγώνου *αβδ* στο σημείο *ζ* και επίσης το βάρος του τριγώνου *βδγ* στο σημείο *η*. Έτσι η γραμμή *ζη* είναι μια ισορροπία στα άκρα της οποίας βρίσκονται αυτές οι δύο ποσότητες. Αν τώρα διαιρέσουμε την ευθεία *ζη* στο σημείο *ϑ* έτσι ώστε το *ϑη* να σχετίζεται με το *ζϑ* όπως το φορτίο *ζ*, δηλ. το βάρος του τριγώνου *αβδ*, με το φορτίο *η*, δηλ. το



βάρος του τριγώνου <u>*βδγ*</u>, τότε το σημείο <u>*ϑ*</u>, στο οποίο τα δύο φορτία κρατούν την ισορροπία, είναι το κέντρο βάρους αυτού του τετράγωνου.

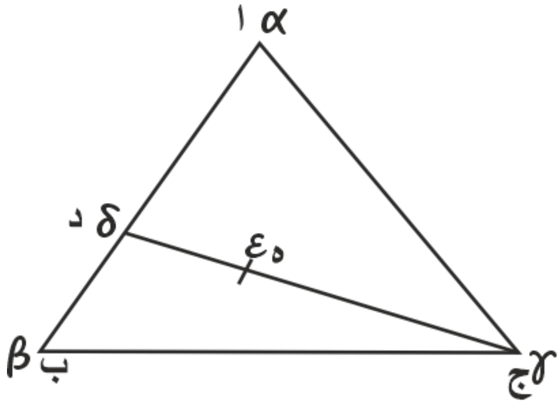
37 Θέλουμε να αποδείξουμε το ίδιο για το πεντάγωνο <u>*αβγδε*</u>. Ας σχεδιάσουμε το <u>*βε*</u> και ας προσδιορίσουμε το κέντρο βάρους του τριγώνου <u>*αβε*</u>˙ και αυτό βρίσκεται στο σημείο <u>*ζ*</u>˙ ας είναι το κέντρο βάρους του τετράγωνου <u>*βγδε*</u> στο σημείο <u>*η*</u>. Ας συνδέσουμε τα δύο σημεία <u>*ζ*</u> και <u>*η*</u> και ας διαιρέσουμε την ευθεία <u>*ζη*</u> σε δύο μέρη έτσι ώστε η <u>*ηϑ*</u> να σχετίζεται με <u>*ϑζ*</u> όπως το βάρος του τριγώνου <u>*αβε*</u> με το βάρος του τετραγώνου <u>*βγδε*</u>, τότε το σημείο <u>*ϑ*</u> είναι το κέντρο βάρους του σχήματος <u>*αβγδε*</u>. Πρέπει να το φανταστούμε με τον ίδιο τρόπο για όλα τα πολύγωνα.

38 Εάν το <u>*αβγ*</u> είναι ένα ομοιόμορφο παχύ και βαρύ τρίγωνο και κάτω από τα σημεία <u>*αβγ*</u> υπάρχουν στηρίγματα στην ίδια θέση, θέλουμε να δείξουμε πώς να βρούμε το βάρος του τριγώνου <u>*αβγ*</u> που φέρει το καθένα από αυτά. . Ας διχοτομήσουμε το <u>*βγ*</u> στο σημείο <u>*δ*</u> και ας συνδέσουμε τα δύο σημεία <u>*α*</u> και <u>*δ*</u>, διαιρούμε την ευθεία <u>*αδ*</u> στο σημείο <u>*ε*</u> έτσι ώστε το μέρος <u>*αε*</u> να είναι διπλάσιο από το ποσό του <u>*εδ*</u> , τότε το σημείο <u>*ε*</u> είναι το σημείο όλου του βάρους του τριγώνου. Τώρα πρέπει να το διανείμουμε στα στηρίγματα. Αλλά αν φανταστούμε την ευθεία <u>*αδ*</u> σε ισορροπία όταν βρίσκεται σε αναστολή στο σημείο <u>*ε*</u>, τότε το φορτίο στο <u>*δ*</u> είναι διπλάσιο από αυτό στο <u>*α*</u>, επειδή η γραμμή <u>*αε*</u> είναι διπλάσια από τη γραμμή <u>*δε*</u>. Και αν φανταστούμε το βάρος στο <u>*δ*</u> κατανεμημένο στα δύο σημεία <u>*β*</u>, <u>*γ*</u> και η ευθεία <u>*βγ*</u> είναι σε ισορροπία, τότε σε καθένα από τα δύο σημεία <u>*β*</u>, <u>*γ*</u> βρίσκεται το μισό του βάρους που είναι στο <u>*δ*</u>, επειδή οι δύο γραμμές <u>*βδ*</u> και <u>*δγ*</u> είναι ίσες μεταξύ τους. Το βάρος στο <u>*δ*</u> ήταν, ωστόσο, διπλάσιο από το βάρος στο <u>*α*</u>. Κατά συνέπεια, τα φορτία στα σημεία <u>*α*</u>, <u>*β*</u>, <u>*γ*</u> είναι ίσα μεταξύ τους και έτσι τα στηρίγματα φέρουν ίσα βάρη. 39 Έστω περαιτέρω το τρίγωνο <u>*αβγ*</u> να είναι ομοιόμορφα βαρύ και παχύ, σε στηρίγματα στην ίδια θέση, και έστω ότι οποιοδήποτε βάρος να τοποθετηθεί ή να αναρτηθεί στο σημείο <u>*ε*</u>, στην πραγματικότητα, έστω ότι το σημείο <u>*ε*</u> να έχει οποιαδήποτε τυχαία θέση, τότε Θέλουμε να μάθουμε πόσο από το βάρος στο <u>*ε*</u> αντέχει κάθε ένα από τα στηρίγματα. Ας σχεδιάσουμε το <u>*αε*</u> και ας το επεκτείνουμε προς το <u>*δ*</u>, διαιρούμε το βάρος στο <u>*ε*</u> έτσι ώστε, εάν το τρίγωνο βρίσκεται στην ευθεία <u>*αβ*</u> σε ισορροπία, το φορτίο στο <u>*δ*</u> σχετίζεται με το φορτίο στο <u>*α*</u> όπως η γραμμή <u>*αε*</u> στη γραμμή <u>*εδ*</u>. Ας διαιρέσουμε περαιτέρω το βάρος στο <u>*δ*</u> έτσι ώστε το <u>*βγ*</u>, αν είναι κρεμασμένο, να βρίσκεται σε ισορροπία, τότε το βάρος του <u>*γ*</u> σχετίζεται με το βάρος του <u>*β*</u> όπως η γραμμή <u>*βδ*</u> με τη γραμμή <u>*γδ*</u>. Το βάρος στο <u>*δ*</u> έχει καθοριστεί. κατά συνέπεια καθορίζονται τα δύο βάρη <u>*γ*</u>, <u>*β*</u>. Αλλά το βάρος στο <u>*α*</u> έχει επίσης καθοριστεί. κατά συνέπεια καθορίζονται τα βάρη που στηρίζονται στα στηρίγματα.

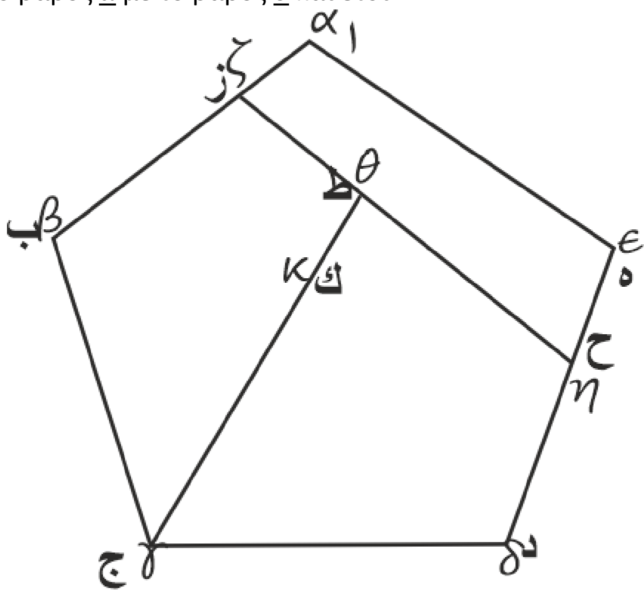


39 Έστω περαιτέρω το τρίγωνο αβγ ότι είναι ομοιόμορφα βαρύ και παχύ, σε στηρίγματα στην ίδια θέση, και αφήστε οποιοδήποτε βάρος να τοποθετηθεί ή να αναρτηθεί στο σημείο ε, στην πραγματικότητα, αφήστε το σημείο ε να έχει οποιαδήποτε τυχαία θέση, τότε θέλουμε να μάθουμε πόσο από το βάρος στο ε φέρει κάθε ένα από τα στηρίγματα. Ας σχεδιάσουμε το αε και ας το επεκτείνουμε προς το δ, διαιρούμε το βάρος στο ε έτσι ώστε, εάν το τρίγωνο βρίσκεται στην ευθεία αβ σε ισορροπία, το φορτίο στο δ σχετίζεται με το φορτίο στο α όπως η γραμμή αε στη γραμμή εδ. Ας διαιρέσουμε περαιτέρω το βάρος στο δ έτσι ώστε το βγ, αν είναι κρεμασμένο, να βρίσκεται σε ισορροπία, τότε το βάρος του γ σχετίζεται με το βάρος του β όπως η γραμμή βδ με τη γραμμή γδ. Το βάρος στο <δ> έχει καθοριστεί˙ κατά συνέπεια καθορίζονται τα δύο βάρη γ, β. Αλλά το βάρος στο α έχει επίσης καθοριστεί. κατά συνέπεια καθορίζονται τα βάρη που στηρίζονται στα στηρίγματα.

40 Αν δίνεται ένα τρίγωνο αβγ και αιωρούνται γνωστά βάρη στα σημεία α, β, γ, θέλουμε να βρούμε στο εσωτερικό του τριγώνου ένα τέτοιο σημείο που το τρίγωνο, αν αιωρείται σε αυτό να είναι σε ισορροπία. Διαιρούμε την ευθεία αβ στο σημείο δ έτσι ώστε το βδ να σχετίζεται με το αδ όπως το βάρος στο α με το βάρος στο β. Τότε το σημείο για το συνολικό βάρος των δύο φορτίων είναι στο σημείο δ. Αν τώρα συνδέσουμε τα δύο σημεία δ και γ με την ευθεία δγ και τη διαιρέσουμε στο σημείο ε έτσι ώστε γε να σχετίζεται με εδ όπως το βάρος του δ με το βάρος του γ, τότε το σημείο ε είναι το σημείο για το συνολικό βάρος όλων και επομένως το σημείο ανάρτησης.



41 Θέλουμε να δείξουμε το ίδιο για ένα πολύγωνο. Έστω το σχήμα αβγδε πολύγωνο. Ας κρεμάσουμε τα γνωστά βάρη στα σημεία αβγδε και ας διαιρέσουμε την ευθεία αβ στο σημείο ζ έτσι ώστε η γραμμή βζ να σχετίζεται με ζα όπως το βάρος α με το βάρος β και έτσι το σημείο ζ είναι το κέντρο βάρους των δύο βαρών στα α και β. Ας διαιρέσουμε επίσης την ευθεία δε στο σημείο η έτσι ώστε η απόσταση δη να σχετίζεται με ηε όπως το φορτίο ε με το φορτίο δ, τότε το σημείο η είναι το σημείο για το συνολικό βάρος των δύο σημείων ε, δ. Ας σχεδιάσουμε τώρα το ζη και ας το διαιρέσουμε στο σημείο ϑ έτσι ώστε το (α + β) να σχετίζεται με το (δ + ε) όπως το ηϑ με το ϑζ και μετά το σημείο ϑ είναι το σημείο για το συνολικό βάρος του αβδε. Ας συνδέσουμε ακόμη τα δύο σημεία γ, ϑ με την ευθεία γϑ και ας τα διαιρέσουμε στο σημείο κ έτσι ώστε το γκ να σχετίζεται με το κϑ όπως το συνολικό βάρος του αβδε με το βάρος του γ, τότε το σημείο κ είναι το σημείο για το βάρος που συνδυάζεται από όλα αυτά.



Τέλος του δεύτερου βιβλίου του Ήρωνα για την ανύψωση βαρέων αντικειμένων.

بسم الله الرحمن الرحيم
المقالة الثانية من كبار ايرن في رفع الاشياء الثقيلة
[1] انّه ملمّا كانت القوى التي تحرك بنا الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة خمسا يجب لاضطرار ان نضع اشكالها واستعمالاتها وأسماءها لان هذه القوى منسوبة الى طبيعة واحدة وهى مختلفة فشكالها اختلافا كثيرا فأمّا اسماؤها فهي هذه ʘ ‘محور داخل في فلكة ʘ مخل ʘ بكرة ʘ إسفين ʘ لولب ʘ أمّا المحور المركّب في فلكة فأنّه يعمل على هذه الصناعة يؤخذ عود صلب مربّع في هيئة الخشبة فتملس اطرافه ويدوّر وتركّب عليها سرنجات من محاس مهندمة ال يجوز غلظ المحور لتكون اذا ركبت في ثقب مستديرة ملبّسة نحاسا في ركن ثابت غير متحرك تدور تدويرا سهلا فهذا العود اذا عمل على هذه الصفة سمّى محورا يمّ نركّب في وسط المحور فلكة مثقوبة ثقبا مربعة بقدر وسط المحور مهندمة على قدر المحور لتكون اذا ركبت الفلكة في المحور دارت الفلكة

σελίδα 2

والمحور معا وهذه الفلكة تسمى برطقين وتاويله المحيطة فاذا فعلنا ذلك فرضنا في المحور عن جنبي الفلكة فرضا متعكشا ليكون ن ذلك الفرض ملفّة تلتفّ القلوس عليها ونثقب في ظاهر الفلكة اعنى في محيطها ثقبا تكون في كثرتها على قدر ما يدعو الحاجة اليه وليكون مهندمة حتى تكون اذا ركبّت فيها اوتاد تدور بتلك الاوتاد الفلكة والمحور ʘ وقد بيّنّا كيف ينبغي ان ان يعمل المحور فأمّا العمل به فالآن نشرحه اذا اردت ان بحرّك ثقلا عظيما بقوّة اقلّ منه تشدّ القلوس المرتبطة في الثقل في الموضوع المفروض من المحور عن جنبي الفلكة ثمّ تركب في الثقب التي ثقبنا في الفلكة اوتادا وتكبّس الاوتاد في جهة الانخفاض حتى تدير الفلكة فيتحك بقوة يسيرة وتلتف القلوس على المحور ان نركّب بعضها بعضا لان لا تلتفّ جميعا على المحور وينبغي ان يكون عظم هذه الآلة على قدر عظم الاجسام التي تريد ان تنقلها بها وامّا نقديرها فينبغي ان يكون على قدر نسبة الثقل الذى نريد حركته الى القوة التي تحركه وذلك سنبيّنه فيما يستأنف ʘ

[2] القوّة الثانية فأمّا القوّة الثانية فأنّها التي تدعى

Σελίδα 3

المخل ولعل هذه القوّى هي ا وّل ما فكر في حركة الاجسام المفرطة الثقل لأنّ قوما لمّا أرادوا ان يحرّكوا جسما ثقيلا مفرط الثقل من اجل ان اوّل ما احتاجوا

اليه في حركته ان يقلّوه قن الأرض ولم تكن لهم مقابض
يقبضونها منه لأنّ جميع أجزاء القاعدة تكون على الأرض
احتاجوا الى ان احتالوا في ذلك فحفرنا تحت الجسم
الثقيل في الأرض حفرا يسيرا واخذوا عودا طويلا
فادخلوا طرفة في ذلك الحفر ذلك الحفر وكبسوا الطرف الآخر فاستقلّ
الثقل ثم وضعوا تحت هذا العود حجرا سموه ابومخليون
وتاويله الموضوع تحت المخل وكبسوه أيضا فاستقلّ الثقل
اكثر فلمّا ظهرت هذه القوّة علّمت أنّه قد يمكن ان تحرّك
بهذه الجهة اثقال عظيمة وهذا العود يسمى مخلا مدورا
كان او مربعة وكلما قرّب الحجر الذى يوضع تحته من`χ
الثقل الذى يحرّك كان اهون لحركته على ما سنبيّنه فيما
يستأنف ⊙

[3] القوّة الثالثة فأمّا القوّة الثالثة فأنّها التي تدعى
الكثيرة الرفع فأنّا اذا اردنا ان نرفع ثقلا اى ثقل كان
ربطنا القلوس في ذلك الثقل وارادنا ان نمدّ القلوس حتى
نرفعه ويحتاج في ذلك الى قوّة موازيا للثقل الذى نريد
ان نرفعه فأن نحن حللنا القلوس من الحمل وربطنا احد
σελίδα 3

المخل ولعل هذه القوّة هو اول ما فكر فيه حركة
الاجسام المفرطة الثقل لأنّ قومّا لمّا أرادوا ان يحرّكوا
جسما ثقيلا مفرط من اجل ان اوّل ما احتاجوا
اليه في حركة ان يقلّوه عن الأرض ولم تكن لهم مقايض
يقبضونها منه لانّ جميع أجزاء القاعدة تكون على الأرض
احتاجوا الى ان احتالوا في ذلك فحفروا تحت الجسم
الثقيل في الأرض حفرا يسيرا واخذوا عودا طويلا
فادخلوا طرفه في ذلك الحفر وكبسوا الطرف الآخر فاستقلّ
الثقل ثمّ وضعوا تحت هذا العود حجرا سمّوه ابومخليون
وتاويله الموضوع تحت المخل وكبسوه أيضا فاستقلّ الثقل
اكثر فلمّا ظهرت هذه القوّة علّمت أنّه يمكن ان تحرّك
بهذه الجهة اثقال عظيمة وهذا العود يسمى مخل مدورا
كان او مربعا وكلما قرّب الحجر الذى يوضع تحته من
الثقل الذى يحرّك كان اهون لحركته على ما سنبيّنه فيما
يستأنف ⊙

[3] القوّة الثالثة فأمّا القوّة الثالثة فأنّها التي تدعى
الكثيرة الرفع فأنّا اذا اردنا ان نرفع ثقلا أي ثقل كان
ربطنا القلوس في ذلك الثقل اردنا ان نمدّ القلوس حتى
نرفعه ويحتاج في ذلك الى قوّة موازية للثقل الذى نريد
ان نرفعه فأن نحن حللنا القلوس من الحمل وربطنا احد

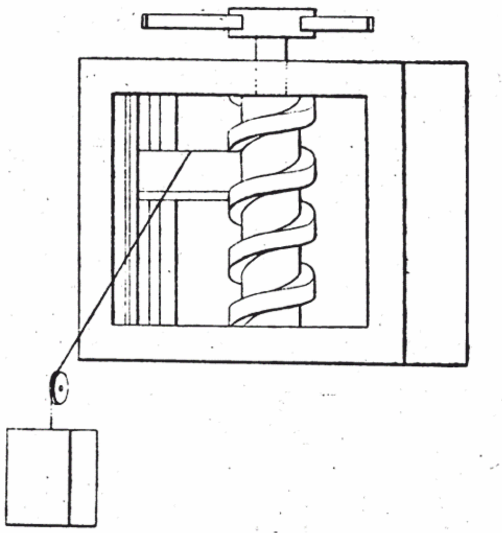
طرفيا في عارضة ثابتة وادخلنا الطرف الآخر في بكرة
مشدودة في وسط الحمل ومددنا القلوس كان تحريكنا
لذلك الثقل اسهل وإن نحن ربطنا في العارضة الثابتة
بكرة أخرى وادخلنا طرف القلس فيها ومددناه كان
تحركينا لذلك الثقل لكثر سهولة وأيضا ان نحن شددنا
على ذلك الثقل بكرة أخرى وادخلنا طرف الحبل فيها
زادنا ذلك سهولة في حركة الثقل وعلى هذا العمل كلّما
زدنا في العارضة الثابتة من البكر وفى الثقل الذى نريد

ان احمله وادخلنا احد طرفي القلس في البكرة التي
في العارضة الثابتة وفى البكرة المرطبة في الحمل
وصيّرنا مجرى القلوس يمتدّ اليه زدنا في السهولة رفع ذلك
الثقل وكلّما تكاثرت البكر التي تجرى عليها القلوس كان
اسهل لرفع ذلك الثقل وينبغي ان يكون طرف القلس
الواحد ثابتا مشدودا في العارضة الثابتة ويكون القلس
يجرى منها الى الثقل فأمّا البكر التي في العارضة الثابتة
فأنّها ينبغي ان تكون مشدودة على خشبة أخرى وتكون
دائرة على محور واحد ويدعى ذلك المحور منغنن وتكون
تلك الخشبة مشدودة على العارضة الثابتة بقلوس أخر
واما البكر المشدودة على الحمل فأنّها تكون على محور
آخر مساو لذلك المحور مربوط بالحمل وقد يجب ان

تركب البكر على المحور تركيبا لا يمكن بعضها يلاقى بعضا
لأنها اذا تلاقت صعب تدويرها فأمّا لِمَا اذا صارت
الزيادة في البكر نريد في سهولة الرفع ولِمَ صار طرف
القلس يربط في العارضة الثابتة فأنّا سيخبره به فيما
بعد هذا ⊙

[4] القوّة الرابعة فأمّا القوّة الرابعة التي تتلو هذه
فأنّها القوّة التي تدعى بالإسفين وهى ستعمل في
بعض الآت الطيب وفى الصاق ما جلّ من الآت النجارة
وكثيرة اعمالها واكثر استعمالها لها اذا اردنا ان نفرى
اسفل الحجر الذى نريد ان نقطعها وقد فصلنا جوانبها من
الجبل الذى نقطعه منه فأنّ في هذا الباب ليس يعمل
شيء من تلك القوى الاخر فلا لو اجتمعت كلّها فأمّا
الإسفين فأنّه واحده يفعل في ذلك وفعله بالضاربة التي
تناله أي ضربة كانت وليس يبطل من فعله بعد سكون
الضربة وذلك ظاهر لنا انّه بلا ان يضرب كثيرا ما يكون
له صوت وقلع ما يشق بقوته وكلما كانت زاوية الإسفين
اصغر فأن العمل به اسهل كما سنبيّن ⊙

[5] القوّة الخامسة وهى التي تسمّى اللولب امّا
الآلات التي ذكرنا فأنّ معنيها ظاهرة بذاتها وذلك
ظاهر لنا في أشياء كثيرة من استعمالاتها فأما اللولب
فأن في عمله واستعماله صعوبة كان هو الذى يعمل وحده
او كان قوّة أخرى تعمل معه إلا انّه ليس بشيء آخر إلا
اسفين ملتو لا يناله ضرب بل يتحرّك بالمخل وذلك يتبيّن
بما نحن ذاكرون فنقول أن طبيعة الخطّ المرسوم عليه
هي هذه اذا فرض ضلع من اضلاع شكل اسطواني متحرك
على بسيط الأسطوانة وفرضت نقطة ما في نهاية ذلك
الضلع تتحرّك على ضلع وتنفذ عليه كلّه في الزمان الذى
يدور الضلع على بسيط الشكل الأسطواني كلّه دوره
واحدة ويرجع الى موضوع الذى منه ابتدأت تتحرّك فأن
الخطّ الذى ترسمه تلك النقطة على بسيط الشكل
الأسطواني يكون دائرة لولبية وهى التي بسمّي اللولب
فاذا اردنا ان نرسم هذا الخطّ على بسيط الأسطوانة فأنّا
نستعمل هذا العمل انّا اذا فرضنا على سطح ما خطّين
احدهما قائم على الأخر على زاوية قائمة كان احد الخطين
مساويا لضلع الأسطوانة والأخر مساويا لدائرة الأسطوانة



اعنى دائرة قاعدتها ووصلنا طرفي الخطّين المحيطين بالزاوية القائمة بخط يوتّر الزاوية القائمة ثمّ ركبنا الخطّ

المساوي لضلع الأسطوانة على ضلع الأسطوانة والخطّ المساوي لدائرة قاعدة الأسطوانة على دائرة قاعدة الأسطوانة فأنّ الخطّ الموّتر لزاوية القائمة يلتفّ على بسيط الأسطوانة فتكون عليه دائرة لولبية وقد يمكنّا ان نقسم ضلع الأسطوانة في الأجزاء المتساوية بكم اردنا ونرسم على كلّ جزء منها دائرة لولبية فتكون على الأسطوانة دوائر كثيرة لولبية وتكون الأسطوانة لولبا وتسمّى الأسطوانة التي قد التفّ عليها وتر زاوية واحدة لولبا ذا دورة واحدة اعلى اذا كان ضلع الأسطوانة لا يحيط الا بخطّ واحد يبتدى من احدى نهايتها وينتهى الى الأخرى فاذا اردنا استعمال اللولب حفرنا على هذا الخطّ الملتف على الأسطوانة حفرا عميقا يصل الى قعر الأسطوانة حتى يمكنّا ان نرّكب في ذلك الحفر الخشبة التي تسمى طولس ثمّ نستعمل اللولب على هذه الجهة ندير طرفيه تدوير مملّسا ونرّكبها في ثقب مستديرة من اركان ثابته ليكون تدويره في تلك الثقب سلسا ونركّب الخشبة التي تسمى قانون قائمة موازية لخشبة اللولب وليكن في هذا القانون حفر ميزابي عميق ظاهر في بسيط الخشبة في الجهة التي تلى اللولب ثم نركّب طرف العود الذى يسمّى طولس

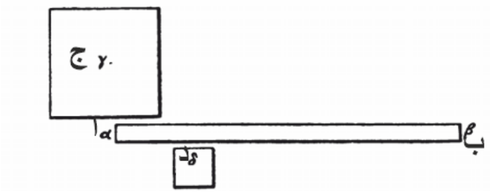
في حفر اللولب وطرفه الاخر في حفر القانون فاذا اردنا ان نرفع حملا ثقيلا بهذه الآلة نأخذ قلسا من القلوس التي تسمى سلاح ونشدّ احد طرفية في الحمل الذى نريد ان نرفعه والآخرون العود الذى يسمّى طولس ونكن قد ثقبنا في طرف اللولب ثقبا مخالفة فنركّب في هذه الثقب اوتاد ونير اللولب بهذه الاوتاد فيرتفع هذا الطولس بحركته في الحفر الذى في اللولب ويرتفع بارتفاعه الحبل فيقل الثقل المرتبط فيه وقد يمكنّا ان نركّب بدل الاوتاد مربعة ذات مقابض في طرف اللولب الخارج عن الركن الثابت فنير اللولب بهذه المربّعة ويرتفعذ الحمل فأمّا الحفر اللولبيّ الذى يكون على الأسطوانّة فأنّه ربمّا كان مربعا وربّما كان عدسيّا فأمّا المربّع فهو القائم الحفر الذى ينتهى حفرة الى خطّين وامّا العدسيّ فهو الذى حفره مائل وينتهى الى خط واحد فيسمى هذا عدسيّا والأخر يسمى مربّعا ⊙

[6] فاللولب اذا كان يستعمل مفردا وحده فعلى هذه الجهة يستعمل وامّا إن استعمل استعمالا آخر بمشاركته قوّة أخرى وهى التي تفعل بالمحور الذى عليه فلكة مركّبة فهي تكون على هذه الجهة نتوهّم للفلكة التي على المحور اوتاد ولولب ما محاذى الفلكة إمّا قائم على الأرض وإمّا مواز لسطح الأرض ولتكن الاوتاد مركبة في الحفر اللولبيّ واطراف اللولب تكون في ثقبين مستديرين من ركنيين ثابتين على ما وصفنا فيما تقدم وليكن طرف الأول فيه فضل خارج عن الركن الثابت مركّب فيه مربعة ذات مقابض او نثقب في ذلك الفضل الخارج ثقبا لنركّب

فيها اوتاد ندوّر اللولب بها فاذا اردنا ان نرفع ثقلا ما
بهذه الآلة نشدّ القلوس المرتبطة بالحمل على المحور
من جنبتي الفلكة وندير اللولب الذى قد ركّبنا فيه اوتاد
الفلكة فتدور الفلكة و المحور ويستقل ذلك الثقل ⊙
[7] أما صنعة الخمس قوى التي تقدّم وصفها
والعمل بها فقد اتينا على ذكرة وشرحه وامّا العلّة التي بها
صارت كل واحدة من هذه الآلات تحرك اثقالا عظاما
بقوّة يسارة فأنّا الآن نخبّره هكذا ⊙ نفرض دائرتين على
مركز واحد وهو علامة ا وليكن قطرهما خطّى ب ج د ه
لتكن الدائرتان متحركتين على علامة ا التي هي مركزها
ولتكن الدائرتان قائمتين على الأفق ولنعلق على علامتي

ب ج ثقلين متساويين وهما علامتا ز ح فيظهر لنا الدوائر
لا تميل الى جهة من الجهات لان ثقلي ز ح متساويين
وبعدى ب ا ا ج متساويان فيكون ب ج عمود ميزان يتحرك
على علامة هي علامة ا نقلها الثقل الذى على ج فعلّقاناه
على ه يميل الى ما اسفل منحطّا ثقل ز ويدير الدوائر
فاذا زدنا في ثقل ط سيعال ثقل ز وتكون نسبة ثقل
ط الى ثقل ز كنسبة بعد ب ا الى بعد ا ه فنتوهّم خطّ ب ه
ميزانا يتحرّك على علامة هي علامة ا وذلك قد بيّنه
ارشميدس في كتابه مساواه الميل فيظهر من هاهنا
انّه ممكن ان يحرّك عظم كبير بقوة يسيرة لأنه اذا كانت
دائرتان على مركز واحد وكان الثقل الكبير على قوس ما
من الدائرة الصغيرة والقوّة اليسيرة على قوس ما من
الدائرة العظيمة وكانت نسبة الخطّ الخارج من مركز
الكبيرة الى الخط الخارج من مركز الصغير اعظم من نسبة
الثقل الكبير الى القوة اليسيرة التي تحرّكه فإن القوّة اليسيرة
تقوى على الثقل الكبير⊙
[8] فاذا كان قد صحّ لنا هذا في تمثيلنا في الدائرة
فأنّا نريد ان نبيّن ذلك في هذه الخمس قوى ونوضع

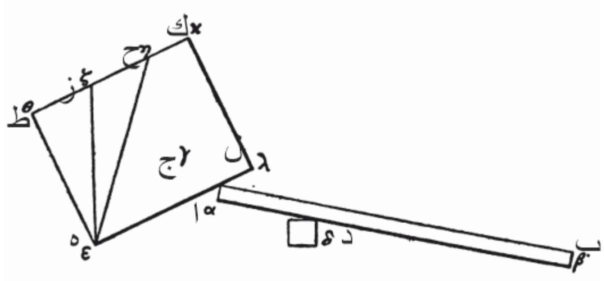
برهنها بعد هذا العمل فقد كان القدماء الذين
كانوا قبلنا يقدّمون هذه المعدمة فلنبيّن الآن ذلك اولّا
في الآلة التي تسمى المخل وهذا المخل يحرّك الثقيلات
على ضربتين إما كان بان موضوعا وضعا يكون موازيا
للأرض او بان يكون متعاليا عن الأرض مأئلا عليها فيكون
العمل به بان يكبّس طرفه المتعالي عن الأرض الى ما يلى
الأرض فلنفرضه أولا موازيا للأرض وليكن المخل خط
ا ب وليكن الثقل الذى يتحّرك بالمخل على علامة ا وهو
ثقل ج ولتكن القوة المحركّة على علامة ب الحجر
الذى تحت المخل الذى يتحّرك المخل عليه على علامة د
وليكن ب د اعظم من خطّ د ا فاذا نحن رفعا طرف المخل
الذى علامه ب ونعالي المخل عن الحجر الذى يدور
عليه فأنّ الثقل الذى هو ج يتحّرك الى الجهة الأخرى
فترسم علامة ب دائرة على مركز د علامة ا أيضا
دائرة على هذا المركز اصغر من الدائرة ترسمها علامة
ب فأن كانت النسبة خطّ ب د الى د ا هي نسبة الثقل
الذى هو ج الى القوّة التي هو عند ب فأنّ ثقل ج يعادل قوّة



ب وان كانت نسبة ب د الى د ا اعظم من نسبة الثقل الى

القوّة فأنّ القوّة تقوى على الثقل لأنّها دائرتان على مركز
واحد والثقل هو على قوس من الدائرة الصغرى والقوّة
المحّركة على قوس من الدائرة العظمى فقد يظهر لنا انّه
يعرض في المخل العارض الذى عرض للدائرتين اللتين
على مركز واحد فاذّا المخل المحّرك للثقيلات العلّة فيه
هي العلّة التي عرضت للدائرتين⊙

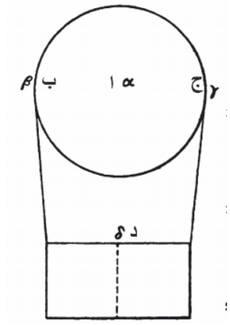
[9] ولنفرض أيضا مخلا يكون خطّ ا ب يتحرك على
حجر تحت المخل وهو د وليكن احد طرفي المخل
الذى يكون علامة ا يكون تحت حمل ج والطرف الاخر
يكون متعاليا عن الأرض وهو على علامة ب فأن نحن
كبّسنا طرف المخل الذى هو على علامة ب الى ما يلى
الأرض كنّا قد حرّكنا ثقل ج فأقول إنّه لا يتحرك بهذا
العمل مثل ما تحرّك في العمل الآخر لان في هذا العمل
بعد العمل يتحرّك وبعضه يبقى ثابتا على الأرض فلنتوهّم
سطحا ما خارجا على علامة ه قائما على الأفق وليكن
فاضل من الثقل وهو ه ز ط وليكن هذا الثقل الذى
هو ه ز ط معادلا للثقل الذى هو ه ز ح فان توهّمنا
هذا الثقل اذى هو جميع ه ح ط مفصولا من الحمل
موضوعا في الموضع الذى هو فيه فأنّه لا يميل الى جهة



من الجهات لا الى جهة ط و لا الى جهة ح لمعادلة ثقلي
ه ط ز ه ح ز احدهما للأخر فاذا جزء الحمل الذى هو
ه ح ط ليس يحتاج الى قوّة بتّه فاذّا جزء الحمل الذى
هو ه ح ك ل هو الذى يحرّكه المخل فلو كان مخل ا ب
يحرّك جميع ثقل ه ط ك ل كانت نسبة ب د الى د ا كنسبة
ثقل ه ط ك ل الى القوّة التي عند ب ولكنّه ليس يتحرّك
كله وذلك ان جزءا منه يضبطه السطح المفروض وذلك
الجزء هو نصفه لأنّ ذلك السطح لو لم نتوهّم وزدنا في
القوّة المحركة قدرا مساويا لذلك الفضل كانت القوّة
تندفع الى اسفل ويرتفع طرف المخل الذى عند ا لانّ
الاثقال تنقسم على القوى المحرّكة لها قسمه المساواة فاذّا
السطح المفروض هو يأخذ نصف الثقل فاذّا ان كانت
القوّة التي عند ب معادلة لثقل ه ح ك ل تكون نسبة ب د
الى د ا كنسبة ثقل ه ح ك ل الى قوّة ب والقدر الذى يرتفع
الحمل عن الأرض لذلك القدر يحتاج من القوّة الى الاقلّ
فيكون موضوعا وضعا لا يحتاج الى قوّة اذا كان السطح
المخرج على علامة ه القائم على الأفق يقسم الحمل بنصفين
وهذا العمل بالمخل منسوب الى الدائرة ولكنّه ليس على
العمل الأول ⊙ وامّا ان يكون الميزان أيضا منسوبا الى
ظاهر لأنّ الدائرة ميزان ما⊙

[10] وامّا المحور المرّكب في الفلكة فأنّه ليس
دائرتين على محور واحد أحداهما صغيرة
المحور والأخرى كبيرة وهى دائرة الفلكة
باستحقاق صار تعليق الثقل على محور وصارت
على الفلكة لأن بهذا العمل تقوى القوّة
ثقل عظيم وهذا القول قد قاله الذين
انّا وضعاه هاهنا ليكون كتابة متمّما

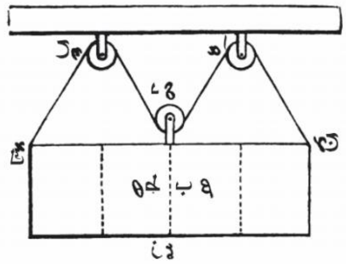
الدائرة فذلك



شيء آخر الّا
وهى دائرة
فلذلك
القوّة المحرّكة
اليسيرة على
كانوا قبلنا إلا
وليكون له

ترتيب مؤلف ⊙
[11] فليقل الآن في علّة الآلة التي تدعى كثيرة
الرفع نفرض فلكة متعالية على علامة ا عليها قلس سلاح
وهو ب ج ونشدّ في طرفي الحبل الممدودين ثقلا وهو
د وليكن هذا الثقل متعالية عن الأرض فيظهر ان الجزئين
المتمدّين من القلس امتدادهما متساو وكلّ واحد
منهما تقلّ نصف ثقل د لأن الجزئين الممتدين ان لم
يكن الممدود منها متساويا فأنّ الذى هو منهما اكثر
امتداد يشيله اكثرهما ارتفاعا ولكنّا ليس نرى شيئا من
هذا لا كل واحد من الجزئين الممتدين من القلس
ساكن فأن نحن قسما ثقل د بنصفين اعلى بجزئين
متساوين يظهر لنا ان الجزئين من القلس الممدودين

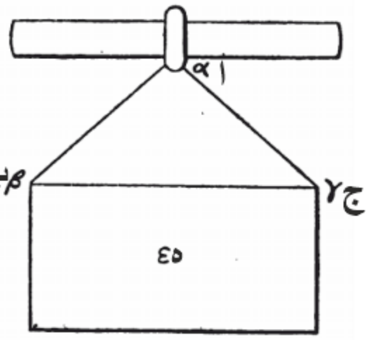
يكونان ساكنين لأن الثقل الذى يمدها ثقل واحد
وهو الذى كان يمدّهما اوّلا فيكون نصف الثقل معدلا
للثقل المساوي له ويكون أيضا الجزآن الممدودان من
القلس متساويين من جهة أخرى لأنّه قد علق اثقال
متساوية في خطوط متساوية وذلك ان القلس الممدود
يماسّ من قوس الفلكة نقطتين هما نظائر بعضها بعضا وبعدهما
من المركز متساو والاثقال كأنّها معلقة بهاتين النقطتين⊙
فعلى هذا العمل وبهذه الجهة ليس يعادل حمل ثقيل
او ثقل عظيم قوة يسيرة ولذلك يسمى هذا الباب من
الآلة التي تسمى كثيرة الرفع ذا رفع واحد وهذا
الذى يسمّى ذا الرفع الواحدة هو الذى القلس فيه ممدود
مدّتين ⊙
[12] فليبيّن الان الذى هو ذو رفعين وهو الذى
فيه من قلس ثلثه أجزاء ممدودة وعلى هذه الجهة كلّما
تكثر امتداد القلس وتكرّر البساطة بعدّه ذلك التكرير
تسمى الآلة ذا رفع بعد نقصان واحد من عدد تكرير
انبساط القلس ليكون الاسم سميّا للعد الذى هو اقلّ
من ذلك العدد اعنى عدد تكرير القلس بواحد فلنتوهم
طرف القلس الذى عند د داخلا في بكرة نافذا منها الى



ركن ثابت يكون عند بكرة ا على علامة ح فيكون امتداد
القلوس متساويا للعلّة التي وصفنا لان كلّ واحد مهما
بمد ثلث الثقل فان قسم ثقل ز بثلاثة اقسام متساوية
حتى يكون ما يلى منه جهة ط ب ضعف ج فان الثقل
يسكن ولا يميل منه شيء الى جهة من الجهات فيكون
الثقل المعلّق في قلس ج معادلا للثقل المعلّق في قلس
د وهو ضعف الجهة الأخرى فان نحن صيّرنا مكان ج
التي هي ثلث الثقل قوّة معادلة للثقل تمسك القلس فان
الثقل الباقي لا يقوى عليها وهى اقلّ منه وذك أيضا ان
نحن ادخلنا طرف القلس الذى عند ح في بكرة تكون
مشدودة عند ح ومددناه حتى نشدّ طرفه في ثقل ز على
علامة ك فأنّ كل واحد من القلوس المدودة يقلّ ربع
الثقل فان قسم الحمل أيضا قسمه أخرى حتى يكون
ما يلى منه علامات ط ب ج ثلاثة أمثال ما يلى علامة ك
فانّ الثقل الذى عند علامة ك يعادل باقي الثقل وتكون
نسبه عدد القلوس الممدودة التي تقلّ الثقل الى القلس

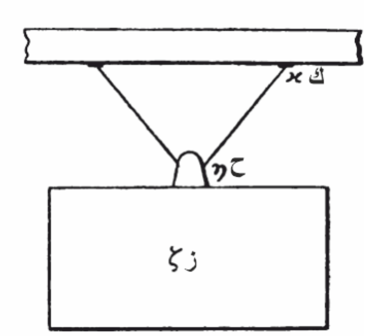
الذى يجّره كنسبة الثقل الى الثقل فينبغي في كلّيه
هذه الاثقال ان تكون نسبة الثقل المعلوم الى القوّة التي
تحركه كنسبة القلوس الممدودة التي ثقلّ الثقل الى

القلوس التي تحركها القوّة المحرّكة فيكون ذلك مثلنا
إن كان الثقل خمسين قنطارا وكانت القوّة المحرّكة خمسة
قناطير يحتاج ان تكون القلوس الممدودة التي تحمل
الثقل عشرة أمثال القلوس التي تمدّها قوّة خمسة
قناطير لتكون القلوس الممدودة التي تحمل التي تحمل لثقل
عشرن القلس الذى عند القوّة المحرّكة واحد فان
كانت القلوس التي تحمل الثقل عشرين قلسا كانت
القلوس التي عند القوة المحركة فليسين فعلى هذا تعادل
القوّة الثقل فان اردنا ان تقوى القوّة على الثقل إمّا ان
نريد في القوّة وإما ان نريد في القلوس التي تحمل
الثقل فقد بيّن برهان البكر التي تسمّى الكثيرة الرفع ومن
هنالك ظهر لنا انّه ممكن ان يكرّك الثقل المعلوم بالقوّة
المعلومة ٥



[13] وقد يعرض في عمل ما ان يسمّى القلس المثنّى
الممدود مدّتين فقط مرّة ذا رفع واحد ومرّة ذا رفعين
على قدر القوّة التي نستعملها فيه ومثال ذلك ان نفرض
بكرة على علامة ا عليها حبل وليكن جزءا الحبل الممدودان
على علامتي ب ج وليكن ب ج مرتبتين بثقل ما وهو ثقل
ه فان قسمنا هذا الثقل بنصفين يكون الجزءان اللذان
في الجهتين متعامد لين وتسمّى هذه البكرة ذا رفع واحد

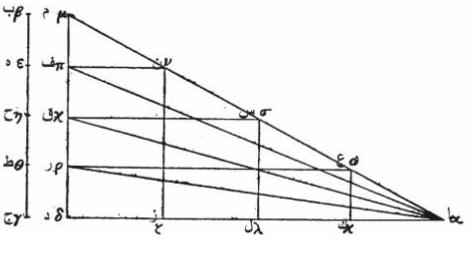
لان القوّة في هذا تكون معادلة للثقل المساوي لها ولنتوهّم
أيضا ثقلا اخر على علامة ز ولنربط عليه بكرة وهى بكرة ح وندخل في هذه البكرة قلسا ونشدّ طرفيه في عارضة
ثابتة حتى يتعلق ثقل ز فيكون كلّ واحد من جزئي
الحبل الممدودين يقلّ نصف الثقل فان حلّ احد طرف
القلس المشدود على علامة ك وقام هو هناك يمسك
القلس فأنّا يكون يحمل نصف ذلك الثقل فيكون جميع
الثقل ضعف القوّة التي تضبطه فيظهر من هاهنا انّ قوّة
أخرى من العارضة الثابتة في طرف الحبل المشدود
معادلة للقوّة الماسكة للطرف الآخر تجتبذ الثقل أيضا
فمذلك باستحقاق سمّيت هذا البكرة ذا رفعين فاذًا
القلس المثنى المقسوم بقسمين ممدودين قد يمكن
ان يسمّى ذا رفع واحد وذا رفعين من هاهنا ظهر لنا انّه
ينبغي ان يكون طرف القلس الآخر مرتبطا في عارضة ثابتة لا
في الثقل المضوع للرفع لأنّ قوّة ما من ذلك الركن
الثابت تعادل القوّة المحركّة وتعينها على حركة الثقل فقد
ظهر انّه اذا كاو طرف القلس الواحد مرتبطا في الحمل فان
الحمل يعادل قوة مساوية له واذا كان طرفه الاخر مرتبطا في
عارضة ثابتة فانّ القوّة تعادل ضعفها من الثقل فيتحرّك
الثقل بقوّة اقلّ من القوّة التي كانت تحرك اوّلا٥



[14] امّا الاسفين فان الضربة تحرّكه في زمان ما لأنه
لا تكون حركة بلا زمان وهذه الضربة انّما تفعل بالمماسّة
فقط التي لا تثبت على الاسفين ولا اقل زمان فيظهر لنا من
هاهنا أنّه بعد ان تفارق الضربة الاسفين يتحرّك وقد نعلم
ذلك أيضا من جهة أخرى إنّه بعد الضربة بزمان ما تكون
من الاسفين والحيات وقلع من قلعة على حدّته فأمّا ان
تكون الضربة وان كانت لا تقيم على الاسفين ولا اقلّ زمان
تفعل فيه فان ذلك ظاهر لنا من الحجارة التي يرمى بها
والسهام كان رميها من يد فقط ان من آلة اخرى لأنّه بعد
ان يفارق الحجر اليد نراه ينفذ الى موضع بعيدة بقوّة بلا
ان تكون اليد تدفعه فمن هاهنا يظهر لنا أنّ الضربة لا تقيم
على الاسفين ولا اقّل زمان ولكّن الاسفين بعد الضربة يأخذ
يحركه ٥

[15] فأقول انّ كل ضربة وان كانت يسيرة فأنها
تحرك كل اسفين فلنفرض اسفينا ما يكون زاويته على علامة
ا ويكون رأسه خطّ د م ولتكن تحركه ضربة ب ج وليكن
بعده ا د وليكن يمكن ان يحرّك بضربة سيرة وليفصل من
ضربة ب ج ضربه تكون ضربة ب ه وهى اقلّ من جميع
الضربات المعلومة فأقول إنّ ضربة ب ه هي في ذات نفسها
تدفع جزءا من الاسفين برهان ذلك من اجل ان

ضربة ب ج تحرك بعد تحرك بعد ا د فان ه ج تحرك بعدا اقلّ من ا د فلتحرك بعد ا ز وأيضا اذا زيدت ضربة ب ه فان
كان بعد ا د يتحرك بضربة ب ج فاذًا ضربة ب ه في ذات نفسها تحرك بعد د ز فان توهّمنا ضربة ب ج مقسومة
بضربات مساوية لب ه وهى ب ه ه ح ح ط ط ج فان بعد ا د ينقسم بأقسام
مساوية لد ز وهى ا ل ك ل ل ز ز د فتكون كل واحدة من
ضربات ب ه ه ح ح ط ط ج تحرك كل واحد من ابعاد
د ز ز ل ل ك ك ا فلنتوهّم خطوطا موازيا لخطّ د م الذى
هو رأس الاسفين وهى خطوط ز ن ل س ط ع وخطوطا أيضا
موازيا لخطّ ا د وهى خطوط ف ن ق س ر ع فتكون
خطوط د ر ر ق ق ف ف م متساوية فان وصلنا علامات
ف ق ر بعلامة ا تحمل أربعة إسفينات تكون زاويها
عنج علامة ا وتكون رؤسها خطوط م ف ف ق ق ر ر د
ويكون كل واحد منها يتحرك بضربة مساوية لضربة ب ه
بعدا مساويا لخط ا ط فسواء ان يقال إن ضربة ب ه تنفذ
من الاسفين كلّه بعد د ز أعنى بعد ع ك ا وان ضربة ب ه
تنفد الاسفين الذى رأسه ر د ببعد ا د لان بحرك كل
الاسفين يتحرك خط ك ع ببعد ا ك وبحركة الاسفين الذى
رأسه د ر يتحرك البعد المساوي لخط ك ع وهو بعد ر د
ببعد ا د فاذًا ر د يتحرك بضربة ب ه بعد ا د ومن هاهنا
ظهر لنا أن قدر ضربة ب ه من ب ج هو قدر الاسفين الذى



رأسه ر د من جميع الاسفين وكذلك أيضا قدر الزمان
الذى يتحرك فيه الاسفين الذى رأسه خطّ ر د وقدر
حركة البعد الذى يحرّكه الاسفين كله بضربة ب ج ونسبة
ذلك أيضا كنسبة ضربة ب ه الى الضربة كلها وعلى وجه آخر
أيضا لا نصيب اختلافا بين حركة ضربة ب ج رأس د م اعنى
الاسفين كلّه وبين حركة كل واحد من ضربات ب ه ه ح
ح ط ط ج كل واحد من الأسفينات التي روسها م ف ف ق
ق ر ر د لان الضربات الجزئية تساوى الضربة الكلّيّة فضربة

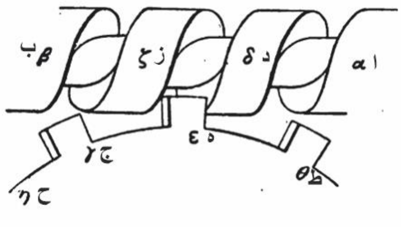
ب ه تنفذ من الاسفين الذى رأسه م ف بقدر ما ينفذه كل الضربة ن كل الاسفين وكل ضربة من الضربات الباقية كل واحد من الاسفين الباقية فان كان المدفوع اسفينا واحدا من الأسافين الصغار اذا ضرب ضربا كثيرا ودفع فأنّه يدفع القدر الذى يدفعه كل الاسفين بكليه الضربة الواحدة وذلك بحركة هذا القدر من الضربات اعنى بقدر ضربات ب ه ه ح ح ط ط ج وعلى هذا تكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة الضربة الى الضربة ورأس الاسفين كله الى رأس احد الاسافين الصغار فبالقدر الذى به تكون زاوية الاسفين اصغر بذلك القدر ينفذ الاسفين بقوة اصغر من القوّة التي تنفذ الاسفين كلهʘ

[16] وقد بقى بعد هذا ان نشرح السبب في اللولب فلنبدأ اوّلا بوضع ما يعرض للدوائر اللولبية إنّا اذا اردنا ان نرسم لولبا نأخذ عودا صلبا قويّا يكون طوله على القدر الذى نريد وليكن ما نريد ان نلولبه منه مخروطا ونرسم على بسيطها ضلع أسطوانة ونقسم هذا الضلع بأجزاء متساوية تكون على قدر عرض الدائرة اللولبية ونفرض على سطح خطّين مستقيمين احدهما قائم على الآخر وليصير احد الخطين مساويا لمحيط الأسطوانة والآخر على قدر عرض موضع الدائرة اللولبية ولنصل طرفي الخطين لخطّ يوتّر الزاوية القائمة ونعمل مثلّثا من صفر رقيق مساويا لهذا المثلّث وليكن في رقّته على القدر الذى يمكنّا تعويجه كيف اردنا فاذا فعلنا ذلك ركّبنا الضلع المساوي لعرض موضع الدائرة اللولبية على اوّل الابعاد المتساوية التي قسمناها من ضلع الأسطوانة ثمّ نلفّ المثلّث الصفر الرقيق على الخشبة الاسطوانية فيصيّر الزاوية الحادّة الباقية من المثلّث الى الزاوية القائمة من الشكل الصفر لان قاعدة المثلث مساوية لمحيط الأسطوانة ثم نلزق كلتي الزاويتين ونرسم الدائرة اللولبية على وتر الزاوية القائمة ثم ندير المثلّث الى البعد الثاني ونركب ضلع المثلّث الرقيق على القسم الثاني وبمثل ذلك العمل الأول أيضا نرسم الدائرة اللولبية الثانية ملاصقة للدائرة الأولى وكذلك نفعل حتّى نرسم جميع ابعاد الخشبة الاسطوانية

ومن اجل انّا عند استعما لنا اللولب احتجنا ان نضع في الحفر الأوّل الذى للدائرة اللولبية الخشبة التي تسمّى طولس وهى التي تقلّ الثقل فأنّه عند تدوير اللولب يرتفع هذا العود ويرتفع بارتفاعه الثقلʘ

[17] فينبغي ان لا نتوهّم اللولب الّا اسفينا ملتفّاه لان المثلّث الذى يرسم الدائرة اللولبية هو في هيئة الاسفين ورأسه هو الضلع الذى هو بعد الدائرة اللوبية وزاوية الاسفين الحادة هي زاوية المثلّث الباقية التي يكون عندها العود المسمّى طولس فلهذا صار اللولب اسفينا ملتويا لتفّا يفع بلا ضربة لكن باستدارته وتدويره يقوم فيه مقام الضرب في الاسفين فيقل الثقل واقلاله الحمل هو بضدّه الفعل الذى يفعله الاسفين لأنّ الاسفين انّما يفعل بنفوذه الى داخل فهو يحرك الثقل والثقل ثابت في مكانه وامّا اللولب فانّه اسفين ملتو وهو ثابتا في مكانه يقل الثقل اليه وكما انّه قد تبيّن في الاسفين أن الذى تكون زاوية أصغر يكرك الثقل بقوّة اقلّ من القوّة

التي تحرك الثقل بالأسفين الذى زاويته أعظم كذلك يلزم
ان نقول في هذا إن اللولب الذى الابعاد التي بين
دوائر اللولبية اقل فانّ حركة للثقل اكثر سهولة من
حركة اللولب الذى تكون الابعاد التي بين دوائره
اللولبية اكثر لانّ قلّة ابعد الزوايا اصغر فيكون اللولب
الذى دوائر اكثر انتصابا يحرك الثقل اعظم بقوّة اعظم والذى
اكثر انخفاضا يكرك الثقل بقوّة اقلʘ
فأمّا أنّه اذا كانت فلكة ذات اوتاد مركّبة في
اللولب فانه بدورة واحده يدرها اللولب يكرك
الفلكة وتدا واحدا فأنّا نبيّن ذلك بهده الجهةʘ
نتوهّم لولبا يكون لولب ا ب يكون للولبية التلى
ج د ه ز ح ولتكن هذه الدوائر اللولبية كلّ واحدة
منها دائرة واحدة ولنفرض فلكة موضوعة ذات اوتاد تكون
ح ج ه ط ولتكن اوتادها ح ج ج ه ه ط ولتكن مركّبة في الدوائر
اللولبية وليكن وتد ج ه مركّبة في دائرة لولبية الدوائر
اللولبية وليكن وتد ج ه مركّبا في دائرة لولبة تركيبا
مستقصا فتكون الاوتاد الاخر غير مركّبة في الدوائر اللولبية
الاخرين فان ادرنا اللولب حتّى تندفع علامة ه الى ما يلى
ج فاذا دار اللولب واحدة وصار وتدج تصيّر ه عند
ج ه في موضع وتد ج ح ووتد ه ط في موضع وتد ج ه
ووتد ه ط أيضا في موضع وتد ج ه فانه في دورة واحدة
يدورها اللولب يدور البعد الذى للوتد كلّه وكذلك
ينبغي ان نتوّهم في الاوتاد الاخر فكون على قدر ما في
الفلكة من الاوتاد بذلك القدر يدور اللولب من الدورات
الى هن تدور الفلكة دورة واحدةʘ
[19] فاللولب اذا دار حرّك الحنشبة التي تسمّى
طولس على تقدم في قولنا ويشيل الثقل على استقامة



يكون
[18]
حفر
من
فيه ا

وقد يجب ان يكون هذا الطولس اذا لم يتحرّك اللولب
هاديا ثابتا في موضعه بقوّة ما تكون له ولا يكون ولا يكون عند
هدوء اللولب من التدوير يقوى الثقل عليه اعنى ان يكون
اذا ركّب هذا العود في الحفر اللولبّي وكان شبها بالسند
له ان لا يزلق من الحفر اللولبي لأنّه ان زلق الحطّ
جميع الثقل الى الموضع الذى منه شيل وهذا العود لا
يلزق من الحفر اللولبّي اذا طرف العود مهندما على
الحفر وكان الحفر شبيها بالمسماة له فلذلك نحتاج
ان نصيّر دوائر اللولب متقاربة لتكون شبهة بالموازية
لقاعدة الاسطوانة التي اللولب مرسوم عليها فانّ الدوائر
اذا كانت على هذا كانت شبهة بالمسماة للعود الذى
يقلّ الثقل فأمّا إن كانت الدوائر اللولبيّة التي في الحفر
اللولبّي شديدة الانتصاب حتّى تكون شبيهة الموازية
لضلع الأسطوانة فأنّ العود الذى يقال له طولس اذا
تعلّق عليه حمل ثقيل او أثقلته قوّة عظيمة فأنّه يردّ
تدور اللولب ويضّره يدور تدويرا ضدّ ذلك التدوير
الاوّل هاهنا يظهر لنا ان اللولب قد يمطن ان يحرك
العود الذى يقال له طولس وقد يمكنه ان يتحرّك بذا
العود أيضا فهو يحرّك العود اذا كان حفره اللولبّي
متقارب الدوائر واذا كان عند بطلان تدور اللولب ثبت
في مكنه وبقى الحمل معلّقا عليه وامّا اذا كان الحفر

اللولبّي شديد الانتصاب وكان عند بطلان تدوير اللولب
لا يثبت فأنّ يكون الذى يحرّك اللولب لأنّه اذا كان
في الموضع غير المحفور من اللولب حبل ما مشدودا
وشدّ في طرف الحبل ذلك ثقل ما وكان الحفر اللولبّي
شديد الانتصاب فأنّا اذا رفعنا العود الذى يقال له
طولس نرفع أيضا الثقل فاذا بطلنا من رفع العود يسكن
الثقل ويكون متعلقا لانّ هذا العود قد يضاد حفر اللولب
اذا كان حفر شبيها بالموازي لضلع الأسطوانة فإن لم يكن
على الأسطوانة حفر لولبّي وكان علها حفر ميزابّي على
احد اضلاع الأسطوانة فأنّ العود الذى يقال له طولس
يكون شديد المضادة لهذا الحفر الميزابّي واذا كانت
الدوائر اللولبية متقاربة ورفعنا الخشبة التي يقال لنا
طولس فأنّا لا نحرّك الثقل إلّا ان تكون قوّة عظمة تقلّ
الطولس فأمّا اذا كان الثقل معلّقا في الطولس فأنّه
اذا كانت الدوائر اللولبة متقاربة وادرنا اللولب يرتفع
الثقل واذا بطلنا من تدوير اللولب يسكن الثقل ويبقى
متعلّقا واذا كانت الدوائر اللولبة منتصبة فأنّا لا نحرّك
الثقل إلّا ان تكون قوّة عظيمة تقهر اللولب فقد قلنا في
طبيعة اللولب وعمله ما نكتفى به ʘ
[20] امّا ان تكون الخمس القوى التي تحرّك
الثقل مشاكلة للدوائر التي على مركز واحد فقد تبن

ذلك فيما تقدّم من الاشكال التي رسمناها وأنا أُرى انّها
الى مشاكلة المزان اقرب منها الى مشاكلة الدوائر لما تقدم
من ان أوائل برهان الدوائر انّما خرج لنا بالميزان فانّه
قد تبّن ان نسبة الثقل المتعلق في الجهة الصغرى الى
المعلق في الجهة الكبرى كنسبة الأعظم من جزئي
الميزان الى الصغرʘ وهذه الخمس القوى كلّها قد
لحقها امتناع ما من الفعل اذا اردنا ان نحّرك بها اثقالا
عظاما بقوة يسرة امّا الثلاث الأولى فانه يعرض لها ان
نريد في عظمها على قدر زيادة الثقل الذى نري ان
نرفعه اعنى الفلكة التي على المحور والمخل والألة التي
تسمى كثرة الرفع فأمّا الاثنتان الباقيتان اعنى التي
تكون بالأسفين والتي تكون باللولب فأنّه يعرض لها
ان ننقص من عظمها على ذلك القدر ومثال ذلك إن
اردنا ان نحّرك ثقلا كون الف قنطار بقوة تعادل خمسة
قناطير واستعملنا هذه الحركة بالمحور الذى عليه فلكة
يحتاج ان كون الخطّ الخارج من مركز الفلكة الى محيطها
مائتي مرّة مثل الخط الخارج من مركز المحور الى
محيطه اكثر من ذلك قليلا فان استعملنا ذلك في المخل
احتجنا ان يكون على هذه النسبة ان اكثر قللا واستعمال
ذلك في مثل هذه الآلات صعب او كاد ان كون غير

ممكن لأنّا إن صيّرنا قطر المحور نصف ذراع مكى يقوى
ان يتعلّق الحمل عليه احتجنا ان نصير قطر الفلكة مائة
ذراع او اكثر من ذلك قليلا وعمل هذا صعب وكذلك
يعرض في المخل وفى الآلة الكثيرة الرفع لأنّه لا يمكنّا ان
نعمل قسمة المخل على هذا ولا نعمل كثيرة البكر على
هذا القدر فلنحتال الآن في تسهيل الامتناع الذى

يعرض لهذه الثلاث القوى๏
[21] ونقول إنّ الدائرة هي اكثر الاشكال كلّها
حركة واسهلها كانت الدائرة متحرّكة على مركز واحد
او كانت متحرّكة على سطح قائمةً عليه وكذلك الاشكال
القربة منها اعنى الأكَر والاساطين فأنّ حركتها استداريّة
كما قد بيّنّا في المقالة التي قبل هذه ๏ فهبْنا نرد ان
نحرّك اوّلا عظيما بالمحور الداخل في الفلكة بقوّة
يسيرة ولا يعرض فيه ذلك الامتناع وليكن الثقل الذى
نريد تحريكه الف قنطار مثلا والقوّة التي نرثد ان
فحّكه بها خمسة قناطير فنحتاج اوّلا ان نصيّر القوّة معادلة
للثقل لأنّ ذلك اذا ظهر امكنا ان نصيّر تلك القوّة تقوى
على الثقل بزيادة ما يسرة نريدها في الآلة فلنصيّر المحور
الذى يلتفت عليه القلس المشدود في الثقل على علامة
ا ولبكن الفلكة المركّبة على علامة ب وليسهل علينا صنعة
ΣΕΛ 151

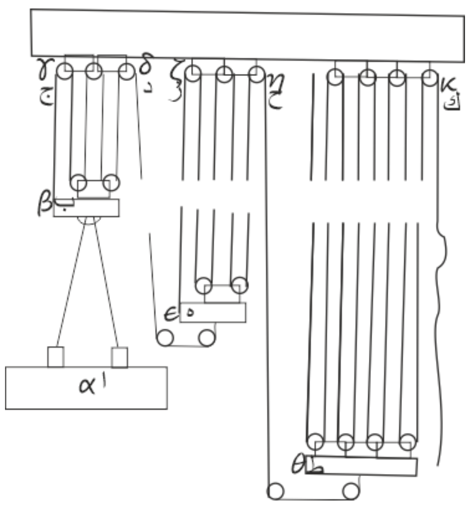
الآلة مصيّر قطر الفلكة خمسة أمثال قطر المحور فيحتاج
في هذا ان تكون القوّة المحرّكة لفلكة ب المعادلة لثقل
في هذا ان تكون القوّة المحرّكة لفلكة ب المعادلة لثقل
هن خمسة قناطير فليس يمكنّا ان نحرك بفلكة ب الثقل
المفروض بهذه القوّة فلنصيّر محورا ما مضرسا وهو محور ج
مركّبا في اضراس فلكة ب لتكون اذا تحرّك محور ج
نتحرك بحركته فلكة ب مع المحور المفروض اوّلا فيكون
اذا حرّك محور ج يتحرك الثقل المفروض ويكون هذا
المحور يتحرك بالقوّة التي تحرّك فلكة ب لأنّا قد برهنّا
ان كل المتحركات على مراكز خاصّة فأنها تتحرك بقوّة
يسيرة فلدلك لا يكون فصل بين حركة الثقل بفلكة ب
وبين حركته بمحور ج فليكن أيضا على محور ج فلكة
ثابتة عليه وهى فلكة د ليكن قطرها مثلا خمسة أمثال
قطر محور ج فيحتاج ان تكون القوّة التي عند فمكة د
المعادلة للثقل أربعين قنطارا وأيضا نفرض محورا آخر وهو
محور ه مركبا في هذه الفلكة فتكون القوّة المحرّكة
التي عند ه أيضا أربعين قنطارا ولتكن فلكة ما ثابتة على
محور ه وهى فلكة ز وليكن قطرها ثمانية أمثال قطر محور
ه لأن قوّة أربعين قنطارا ثمانية أمثال قوة خمسة قناطير
فتكون القوّة التي عند فلكة ز المعادلة لثقل الف قنطار
خمسة قناطير وهذا كان مفروضة فلان تقوى لقوّة على
σελ 153
الثقل نحتاج ان نصيّر فلكة ز اعظم قليلا او نصيّر محور ه
اصغر قليلا فاذا فعلنا ذلك قوّيت القوّة على الثقل فان
اردنا ان نستعمل محاورا وفلكا كثيرة في هذا العمل فأنّا
نحتاج فيه الى هذه النسبة لانّا نحتاج إن نحن اردنا ان
نصير القوّة معدلة للثقل أن يكون جميع النسب معادلة
للثقل وإن اردنا ان نقوى على الثقل احتجنا ان نصيّر
في جملة النسب زيادة على معادلة الثقل امّا المحور
الذى في داخل الفلكة فعلى هذه الجهة تحرّك به الثقل
المعلوم فإن اردنا ان لا نصيّر الفلك ذات اوتاد نلفّ على
المحاور والفلك قلوسا فيخرج لنا ذلك العمل لان الفلكة
التي تحرك أخيرا يتحرك بها المحور الأول الذى يشيل
الثقل وهذه الصيغة التي للمحاور والفلك إنّما تكون في
اركان ثابتة تكون فيها ثقب تنفذ فيها اطراف المحاور

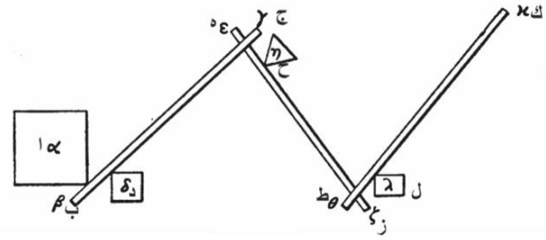
وهذه الأركان اذا كان الثقل يرتفع ينبغي ان تكون في
موضع ثابت وثيقo
[22] وقد يعرض لهذا الآلة وما اشبهها من الآلات
ذاوات القوّة الكبيرة ابطاء لان بقدر ضعف القوّة المحرّكة
عند عظم الثقل المتحرّك بذلك القدر نريد في الزمان
فتكون بنسبة واحدة القوّة الى القوّة والزمان الى الزمان
σελ 155
مثال ذلك انّه لمّا كانت القوة عند فلكة ب مائتي قنطار
وكانت تحرّك الثقل يحتاج الى دورة واحدة في ان
يلتف القلس الذى لفّ على ا ليتحرّك الثقل بحركة
فلكة ب بقدر محيط ا وان كان يتحرك بحركة
فلكة ب بقدر محيط ا وان كان يتحرك بحركة قطر
فلكة د يحتاج ان تتحرّك فلكة ج خمس مرّات ليتحرك
محور ا مرّة واحدة لان قطر فلكة ب خمسة أمثال
محور ج فخمسة أمثال ج مساوية لواحد مثل ب اذا
نحن صيّرنا المحاور متساوية و الفلك وإلّا فأنّا نجد
تناسبا مشابها لهذا انّ فلكة د تتحرك عند ب والخمس
محيطات التي لد لها خمسة ازمان محيط واحد
والمائتا قنطار خمسة أمثال أربعين قنطار فاذًا نسبة
القوّة المحرّكة الى القوّة المحركة بالمبادلة وكذلك يعرض
في المحاور الكثيرة والفلك الكثيرة وبهذا يقبيّنo
[23] ولزم ان نحرك هذا الثقل بهذه القوّة بالآلة التي
تسمّى كثيرة الرفع وليكن الثقل عليه علامة ا وليكن
الموضع الذى يجبذ منه عليه علامة ب والموضع الذى
يحاذيه عليه علامة ج وهو الركن الثابت الذى نريد ان
157

نقلّ الثقل اليه وليكن مثلا ذا خمس بكر ولتكن البكرة
التي يمدّ منها الثقل على علامة د فيحتاج ان تكون القوّة
التي عند د المعادلة للألف قنطار مائتي قنطار والقوّة
المفروضة لنا انّما هي قوّة خمسة قناطير فلنخرج من بكرة
د قلسا الى آلة كثيرة لرفع تكون عند ه وليكن ركن
ثابت محاذيا لها عند ز وليكن ذلك الركن الثابت وما يليه
عند علامة ه مثلا ذا خمس بكر وليكن الممدود منه
عند ح فيحتاج ان تكون القوّة التي عند ح قوّة أربعين
قنطارا ونخرج أيضا طرف القلس الذى عند ح الى بكرة
أخرى تكون عند ط وليكن الركن لثابت عند ك وليكن
يمدّ من علامة ك ومن اجل أن الأربعين قنطارا هي
ثمانية أمثال الخمسة قناطير يحتاج ان تكون الكثيرة
الرفع ذا ثمان بكر فتكون القوّة التي عند ك المعادلة
للألف قنطار خمسة قناطير فلان تقوى القوة التي عند ك
على ثقل ينبغي ان تكون البكر اكثر من ثمانية فتقوى
القوّة على الثقل o
[24]فأمّا ان يكون الابطاء قد يعرض في هذه
الآلة أيضا فانّ ذلك ظاهر لأنّ هذا في مثل تلك لنسبة
فأنّ القوّة التي عند د التي هي مائتا قنطار اذا رفعت

159

الثقل من عند ب الى ج فأنّها تريد ان تلفّ خمسة
احبال ممدودة الى الخمس بكر بقدر البعد الذى بين





علامتي ب ج والقوّة التي عند ح تريد ان تلفّ المخمسة احبال خمس مرّات فإن نحن صيّرنا بعدى ب ج ه ز متساويين تكون بلفّ حبل واحد من الحبال التي في بعد ب ج تلتفّ خمسة احبال من الحبال التي في بعد ه ز لأن الثقل اذا تحرك في البعد الذى بين ب ج يحتاج الى ان تلتفّ له خمسة احبال بقدر بعد ب ج فتكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة القوّة المحرّكة الى القوّة المحرّكة ولأن لا يكون ازدياد الحبال كثيرا يحتاج الى ان يكون بعد ه ز خمسة المثال بعد ب ج و ط ك ثمانية أمثال ه ز فعلى هذا العمل ترفع البكر الكثيرة الرفع معًاʘ

[25] فأمّا المخل فان هذا الثقل يتحرك بهذه القوّة بهذا العمل فليكن الثقل على علامة ا وليكن المخل ب ج وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة د ولتكن حركتنا للثقل بالمخل وهو مواز للأرض وليكن ج د خمسة أمثال د ب فتكون القوّة التي عند ج المعادلة للألف قنطار ومائتي قنطار وليكن مخل آخر وهو ه ز ولتكن علامة

161

ه هي رأس المخل مركّبة على علامة ج ليكون بحركة ه يتحرك ج وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة ح وليكن متحرّكا الى د وليكن ز ح خمسة أمثال ح ه فتكون القوّة التي عند ز أربعين قنطارا وليكن مخل آخر وهو ط ك ولنركّب علامة ط على علامة ز ولتكن متحرّكة حرّكة ضدّ حركة ه وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة ل وليكن متحرّكا حركة في الجهة التي ليس تتحرك اليها علامة ه وليكن ك ل ثمانية أمثال ل ط فتكون القوّة التي عند ك خمسة قناطير فتعادل الثقل فان اردنا ان تقوى لقوّة على الثقل نحتاج ان نصيّر ك ل اعظم من ثمانية أمثال ل ط فان كان ك ل ثمانية المثال ل ط و ز ح خمسة أمثال ح ه و ج د اكثر من خمسة أمثال د ب فانّ القوّة تقوى على الثقلʘ

[26] وقد يعرض في هذا الابطاء على تكن النسبة لأنّه ليس بن هذه الامخال وبين المحاور التي في داخل الفلك المتحرّكة على مراكز فصل لانّ هذه الامخال هي كالمحور فتحرّك على علامات د ح ل التي هي الحجارة التي تدور عليها الامخال فتكون دوائر المحاور الدوائر التي ترسمها علامات ب ه ط والفلك الدوائر التي تبسمها علامات ج ز ك فكما أنّا قد بيّنّا في تلك المحور أنّ نسبة

163

القوّة الى القوّة كنسبة الزمان الى الزمان كذلك نبيّن في هذا أيضا ʘ

[27] فإمّا في الاسفين واللولب فإمّا لا يمكنّا ان نقول هذا لأنّه كما قد بيّنّا فيما قبل هذا أنّه ليس يعرض لشي منها امتناع لكن يعرض ضدّ ذلك وكلّما زادت القوّة التي فيهما صغر كل واحد منهما وانّما كان غرضنا ان نحتمل فيما يزداد عظمة كزيادة الثقل حتى يمكنّا العمل فيه بآلات صغار فيستهل ذلك فاذّا ليس نحتاج في الاسفين واللولب ان نحتمل في تصغيرهما ليسهل العمل ʘ

[28] فأمّا ن يكون الابطاء أيضا قد يعرض لهذين فانّ ذلك ظاهر لان الضربات الكثيرة لنا من الزمان اكثر مما

لضربة الواحدة وتدوير اللولب دورات كثيرة له من
الزمان اكثر مما للدورة الواحدة وقد بيّنّا انّ نسبة واوية
الاسفين الى الزاوية كنسبة الضربة المحرّكة الى الضربة
المحرّكة فاذًا نسبة الزمان ال الزمان كنسبة القوة
الى القوّة ʘ

[29] امّا فيما تقدّم فأنّا حرّكنا الثقل المعلوم بمحاور
كثيرة في فلك وبالمخال كثيرة مرّكبة وببكر كثيرة وقد
يمكنّا ان نحرّك الثقل المعلوم باجتماع هذه وتراكب بعضها
ببعض خلا الاسفين لأنّه وحدة لا يحرّك إلا بالضربة فلنبين
الان انّه قد يمكن ان نراكب الأربع قوى ونحرّك باجتماعها
165

الثقل المعلوم فليكن الثقل المعلوم على علامة ا وليكن
مخل على علامتي ب ج ولتكن علامة ب التي هي طرف
المخل تحت الحمل وعلامة ج متعالية وليكن الحجر
الذى يتحرك عليه المخل علامة د وليكن ج د خمسة
امثال د ب فاذًا القوة التي عند ج تكون مائتي قنطار
حتى تعادل ثقل ا وليشد في طرف المخل الذى هو
علامة ج آلة كثيرة الرفع تكون على علامة ه ولتكن الآلة
الأخرى موازية لها في ركن ثابت وهو عند علامة ز وليكن
الشيء الذى يجذب هذه الآلة على علامة ج وليكن ذا
خمس بكر فتكون القوّة الجاذبة أربعين قنطارا وليكن
محور على فلكة وهو ط ك فأمّا المحور فعليه علامة ط
وامّا الفلكة فعليها علامة ك وليكن الحبل الذى يجرى
على البكرة ملفوفا على المحور ولتكن الفلكة ذات اسنان
قائمة على السطح الموضوع وليرّكب في لولب وهن
لولب ل وليكن له مقبض يدّورها على علامة م وليكن
تركيب السنان في الحفر اللولبّي فاذا ادرنا مقبض
م بدور لولب ل ويدور بتدوير اللولب فلكة ك
فيدور بهذه التدوير محور ط ويلتفّ عليه الحبل الذى
للبكر فيكبسّ طرف المخل الذى عند ج ويرتفع الثقل
فليكن قطر فلكة ك أربعة أمثال قطر محور ط لتكون القوّة
التي عند ك عشرة قناطير وليكن وتد م ضعف قطر
167

أسطوانة الولب فتكون القوّة التي عند م المعادلة للألف
قنطار خمسة قناطير فان زدنا الوتد الذى هو علامة
م زيادة ما قويت القوّة التي هي خمسة قناطير وأمّا المحور
الذى في الفلكة واللولب فليرّكبا في ركن ثابت يكون في
هيئة التابوت لتكون اطراف المحور في حائطي الكنين
القائمين ويكون طرف اللولبي السفلاني في اسفل الركن
الثابت يدور وطرفه الأعلى في وسط السطح الأعلى
ولنربع طرفه ويصيّر فيه فلكة يكون الوتد فيها وليكن هذا
الركن الشبيه بالتابوت في موضع ثابت في موضع جيّد
الأساس محكم الوثاقة اذا دوّر الوتد ارتفع الثقل ʘ

[30] فأمّا في الاسفين واللولب فأنّا نعمل هذا العمل
تكون زاوية الاسفين الذى نريد ان نعمله ا ب ج
وهى حادّة فأقول إن الاسفين التي تكون زوايها اكثر
حدّة تحرّك الثقل باقلّ ضربة اعنى بأصغر قوّة ولتبلغ من
صغرها ان لا تستعمل لحدّتها وليحرج خط قائم على خطّ
ج ب وهل خطّ ب د ليقوى الاسفين وليخرج خطّ

مواز لخطّ ب ج و هو خطّ د ه ولنخرج من علامة ه خطّا
169

على زاوية قائمة وهو خط ه ج وليعمل اسفين كالمعيّن
وهو ا ب د ه وليدخل ضلعه الذى هو ب د ليكون منه
شيء يسير تحت الحمل وليكن رأسه ا ه فيظهر لنا ان
اسفين ا ب ج اذا ضرب ينفذ ا ب د ه برهان ذلك ان نخرج
خطّى ا ب د ه الى ز فتكون زاوية ا ز ه مساوية لزاوية ا ب ج
فيكون ا ز ه إسفينا أيضا يمكن ان يحرّك بتلك القوّة ولنتوهّم
ما يلى منه علامات ب ز د تحت الحمل فكون قد نفذ
الاسفين فأمّا الاسفين فهذا بانه وليس يجب باضطرار ان
نستعلم للأسفين زاوية حادّة لأنّا قد برهنّا أنّ كلّ ضربة
يسرة تمكن ان تحرّك كلّ اسفن اذا ضرب ضربات كثرة
ليم يجب باضطرار أن نستعمل في الأسفين الزوايا
الصغار⊙

[31] فأمّا في اللولب فأنّه ليس يمكن ان نستعمل
مثل هذا العمل ولذلك يحتاج ان نركب في زاوية الدائرة
اللولبّية التي هي زاوية ا ب ج عمود ا ج قائما على ب ج
مساويا لغلظ الطولس الذى نريد ان نركبه في الحفر
اللولبّي ونعمل أسطوانة يكون محيطها مساويا لخطّ ب ج
ونرسم دائرة لولبيّة من هذه الخطوط في بعد ا ج ونحفر
الدائرة اللولبيّة ويكون بعدها مساوا لخطّ ا ج فبهذا
العمل يمكنّا ان نركب تلك الخشبة في الحفر اللولبي ⊙

[32] ومن اجْل انّا قد بيّنّا في كل واحدة من
هذه القوى انّه يمكن بالقوّة المعلومة ان يحرّك الثقل
المعلوم ينبغي ان اعلم هذا اضا انّه لو امكن ان تكون
المعمولات كلّها مخروطة بالمبرد متساوة الثقل متشابهة
الأجزاء ملسة كان يمكن في كل واحدة من هذه الآلات
ان نستعمل الأعمال التي ذكرنا على تلك النسبة ولكن من
اجل انّه لا يمكن الناس يعملون ذلك بالاستقصاء في الملاسة
والاستواء ينبغي ان يزاد في القوى لما يعرض من خشونة
التي قدّمنا لئلا يعرض لنا امتناع في ذلك ونظُرنا
الى الاستعمال بالآلات يكذب بما قد صحّ برهانه⊙

[33] وقد يخب لاضطرار للذين يريدون معرفة
صناعة الحيل ان يعرفنا العلل التي تعرض في استعمال
كل حركة كما قد بيّنّا في رفع الأشياء الثقيلة بالبراهين
الطبيعة واخبرنا بكلّ ما يعرض لكلّ واحدة من القوى
التي ذكرنا لئلا قع لهم شيء بلا برهان ان شيء يشكّون
فيه لكن اذا فحصوا في كل واحد مما يطلبونه يخرج
لهم صدق ذلك في كلّ واحج ممّا ذكرنا فلنذكر أشياء
قد ذكرها القدماء لما يصلح في هذا النوع وقد نتعجّب
من هذا ما إذا بّنّاه كان ضدّ ما تقدّم في معرفتنا ويكنون
ابتداء ما نسأل عند ممّا يظهر لنا وما لا يمكنّا ان نخبّر
173

بأسبابه الأشياء الا بعد الأشياء الظاهرة فيكثر تعجّبنا لذلك ان
كنا نرى الأشاء التي نستعمل ضنّ ما اعتدناه وما كان
عندنا فظاهر لنا انّه يجب لاضطرار لمن أراد الاستقصاء
في وجود العلل ان يستعمل ابتداءات طبيعة إمّا واحدة
وإمّا كثرة فيضيف كل ما يسال عنه اليه ويحرج حلّ
كلّ واحده من السائل باستقصاء اذا ظهرت علتها

وكانت هي الشيء الذى عد عرفناه فليكن لنا موضوعا أن الخفيف سهل الحركة والثقيل عسر الحركة وأن الثقل الواحد حركته بالقوّة الأكبر اسهل منه بالعوّة الاقلّ فانّ هذا قد نراه على هذا وهو بّه ظاهر لنا وقد يجب ان نعلم أن كلّ ما سأل عنه قدّ عرض فيه شيء خفيّ فيس بظاهر لأنّه لا يكاد سأل عن شيء العلّة فيه ظاهرة يبنه ولكن يجب ان نعلم أن ابتداء كلّ المسائل التي تعرض في صناعة الحيل وخفّة العلّة في ذلك انّه لا يمكنّا ان نرى الاجسام الثقلة منقسمة على القوى المحرّكة لها وهذه العلّة بكون ظاهرة بأشياء كثيرة وبخاصة بحركات هذه الاجسام لأن الجسم الذى لا يحرّكه رجل واحد ان الذى اذا حرّكه رجل واحد كان ذلك عله عسرا جدّا فان جماعة من الرجال يحركونه وتكون حركته عليهم سهلة فلو كان يعرض ان يكون على كلّ واحد من المحركين ثقل المحرك كلّه كان لا وجد اختلاف حركة ببين حركة الواحد وبن حركة الجماعة ولكنّه قد نرى الحركة على الجماعة اسهل ومن اجل ان الجماعة قد ينال كلّ واحد منهم شيء ما من الحمل وقد يسهل عليهم حركته فظاهر لنا أنّ الحمل ينقسم على الذين يحرّكونه

[34] المسائل ا لماذا صارت العجل التي هي ذات فلكتين تحمل الاثقال اسهل من العجل اذا كانت ذات ارقع فلك لان الثقل في العجل التي هي ذات فلكتن نقله ينقسك بقسمين متساويين عن جنبي المحور لأمّا في العجل التي هي ذات اربع فلك فأنّ ذلك لا يتهيأ ولا ينقسك الثقل فيكون جزءاه اللذان في الجهتين متساويين لكن يكون الحمل كلّه أمام الفلكتين المؤخرتين وخلف الفلكتين المقدمتين فيذهب بسرعة حركة الفلك اختلاف وضع الثقل فأنّ الفلكة أنّما صارت سريعة الحركة لأنّ ثقلها في اجزائها كلّها متساو

ب لماذا صار جرّ العجل يصعب عل الدوابّ في الرمل لأنّ بعض تقويس الفلك تكون في قعر الرمل فاذا جرت العجلة تدعم الفلكة الرمل الذى هو أمامها وايضا قد يصعب ذلك من اجل أنّ ارجل الدوابّ تنفذ في الرمل فيكون قلعها صعبا فأمّا في الأرض الصلبة فأنّ ذلك لا يعرض

ج لماذا صار الثقل الواجد في الموازين المتعادلة يفعل ميلا مختلفا فيكون فعله الميل الأكثر في الثقل الأصغر فأنّه اذا كانت كفتان ى كلّ واحدة منهما ثلاثة أمناء وصيّرنا في احدى الكفّتين نضف منّا مالت تلك الكفّة ميلا كثيرا فإن كان في كل كفّة عشرة أمناء ودنا في احدى الكفّتين نصف منّا كان ميل العمو في ذلك يسرا جدّا لأنّه عرض في ذلك ان يتحرّك الثقل بقوّة كبيرة فأنّ الثلاثة الأمناء يحرّكها مثل وسدس مثل فأمّا العشرة الناء فأهّه يحرّكها مثل ونصف عشر مثل لأن نصف المنّ وهو نصف عشر العشرة أمناء وهو سدس الثلاثة الامناء والثقل الذى تحرّكه القوّة العظمى تكون حركته اسهل

د لماذا صارت الاثقال العظام يهبط الى الأرض في زمان اقلّ من زمان التي هي اخفّ لأنّه كما يعرض فيها اذا كانت القوّة المحركة لها من خارج أكبر فأنّها تتحرّك

اسهل كذلك اذا كانت قوّتها في انفسها اكبر تحرّكت
أسهل والقوة والجذب في الثقل الأعظم في الحركات
الطبيعية اكبر منه في الثقل الأصغر۞
ه لماذا صار الثقل الواحد اذا له عرض يكون
هبوطه الى الأرض أبطأ منه ذا كان مستدرا لأنه ليس
كما ظنّ قوم أنّه ينال المعترض بعرضه هواء كثيرا وامّا
المستدير فلان اجزاءه بعضها مداخل في بعض لا ينال من
لهواء إلّا يسيرا لكن الثقل الذى ينحطّ معترشا تكون
له أجزاء كثة ولكلّ واحد منها من القوة على قدر قرضه
ففي حركة هذا الثقل يأخذ كلّ واحدٌ من اجزائه من
القوة التي تحركه على قدر ثقله ولا يناله كلّه قوّة واحدة۞
و لمادا صار الرمي من وسط الوتر ينفذ السهم بعدا
كثيرا لان التوتّر يكون فيه اكثر وتكون القوّة الباعثة اعظم
ولذلك صروا القسي من قرون ليكن فيها الثني فاذا
ثنيت كثيرا توتّر الوتر بالسهم اكثر وصارت فيه قوّة اعظم
فنفذ بعدا أطول ولذلك صارت القسي الصلبة التي لا
تجيب أطرافها الى الثني تنفذ السهم بعدا القلّ۞

ز لماذا صار الخشب يندقّ اسرع اذا صيّرت الركبة
منه على النصف لأنّه اذا صيّرت الركبة منه على اقلّ من
النصف لكان احد جزئيه أطول من الآخر يكون ميزانا
منقسما بقسمين مختلفين فتقوى اليد البعيدة من الركبة
على اليد القريبة منها وليس ينال إحداهما قوّة الأخرى
الّا ان يكون جميعهما في طرف العود ۞
ح لماذا صارت الخشبة كلّما زادت في طولها أكثر
ضعفا وكثر انثناؤها اذا اقلّت في احد طرفيها لان
الخشب الطويلة فيها قوّة كبيرة متفرّقة في اجزائها
فتكون كلّها تقوى على الثابت منها الذى به تقلّ فيعرض
لنا ما يعرض في الخشب القصار اذا علّق في أطرافها شيء
يكبّسها فتكون الزيادة في طول الخشبة بقدر ذلك الثقل
181

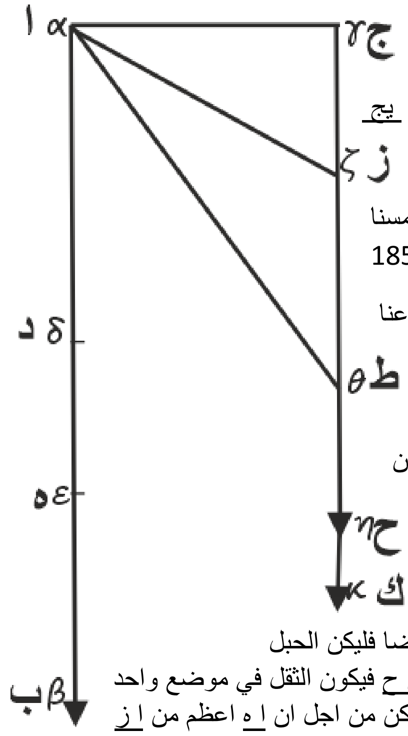
الذى يجتذب الخشبة القصيرة فينال الخشبة الطويلة
بذاتها من طولها مثل الذى ينال القصيرة اذا شدّ في
طرفها شيء ثقيل ۞
ط لماذا صار قلع الاضراس يستعمل بالكلبتين دون
اليد لأنّه لا يمكنّا ان نضبط الضرس باليد كلّها لكن بجزء
منها وكما انّه قد يصعب علينا ان نشيل ثقلا ما بأصبعين
فقط اكثر من صعوبته باليد كلّها كذلك أيضا يصعب علينا
ضبط الضرس وكبسه بأصبعين اكثر منه باليد كلّها لان
في جميع المعنيين القوّة واحدة وقسمة الكلبيين على
مسمارها هي أيضا تصيّر اليد تقوا على الضرس لأنّها
مخل تكون اليد منه على الجزء الأعظم وبعد الكلبيين
هو يعين على حركة الضرس وذلك ان اصل الضرس هو
الشيء الذى يتحرّك عليه المخل فلان بعد الكلبتين يكون
اكثر من اصل الضرس الذى يتحرك عليه شيء كبير تقوى
اليد على القوّة التي في اصل الضرس لأنّه لا يكون فصل
بين حركة ثقل وبثن حركة قوّة تعادل ذلك الثقل فأن
رددنا اليد اذا كانت ممدودة يكون صعب ليس
لثقل اليد لكن القوّة ارتباط العصب بعضها ببعض ۞
ى لماذا صارب الموازن اذا دوّرت تدويرا كانت

مثقلة او خفيفة تحرّكت اسرع من حركتها الى احدى
الجهات التي تميلها لأنّه اذا دوّرت كلّها كان ثقلها
183

متشابها متساويا من الجهات كلّها فيكون لذلك
متحرّكا على مركز ومركزه علاقته فأمّا اذا جذبنا الميزان
الى احدى الجهتين فأنّا نرفع ثقلا ما لان ميل الكفّة الى
اسفل يقلّ الأخرى فتكون حركة غير طبيعيّة اعنى حركة
ثقل الى ما يلى العلو فأمّا الحركة الطبعّة فأنها سهلة وهى
اسفل اسهل من شيلها الى فوق ʘ
يا لماذا صارت حركة الاثقال المتعلّقة سهلة لأن جميع
قوّة الاثقال قد قويت عليها القوّة التي هي متعلّقة بها
فلأنّه لم يبق لها كثير قوّة صار دفعها سهلا وكذلك أيضا
يعرض في الميزان اذا كان متعلّقا وجذبناه تحرّك اسهلʘ
يب ملاذا صارت الحجارة المتقدّرة العظم التي على
شطّ البحر تكون اكثر ذلك مستديرة لأنها تكون اوّلا
ذات زوايا حادّة فبحركة البحر يضرب تعضها بعضا فتكسّر
زواياها لضعفها ʘ
لماذا صارت الاثقال المتعلقة التي نريد ان
نحرّكها كلما بعدت اليد عنها حتى تصير الى الركن الثابت
الذى هو معلّقة عليه او قربت منه صعبت حركتها لأنّا ان
ان نحركها من الموضع الثابت الذى هي

معلّقة عليه صعب ذلك وكان غير ممكن بتّه فاذا تباعدت
لركن الثابت حرّكت الثقل لكن بصعوبة وذلك
للقرب من بطلان الحركة بتّه وكلّما تباعد المحرك من
الركن الثابت كانت الحركة عليه اسهل مثال ذلك ان
نفرض الركن الثابت الذى الثقل معلّق عليه على علامة ا
الحبل خطّ ا ب علامتين كيف ما وعقتا وهما علامتا
د ه ولنجذب الحبل من علامة د فنكسره حتى يكون
كهيئة ا ز ح فيكون الثقل عند ح اكثر فأقول إن ارتفاعا
من ب برهان ذلك أنّا نخرج خطّ ا نخرج خطّ ح ز الى ج ومن اجل
أنّ ا ز ح اعظم من ج ز ح فإنّ علامة ح اعلى من علامة ب
الممتد من علامة ه له وضع قائم على
اعنى يكون مثل ا ب
يكون ه اكثر انحطاطا
من ز كعلامة ط ونصل ا ط فيكون ا ط قد كسر كسرة ا ط ح
فأقول إنّ الثقل المعلق هو اكثر انحطاطا من ح بيان
ذلك من اجل ان ا ز ز ط اعظم من ا ط وخطّ مشترك
فأنّ ا ز ز ح اعنى ا ب اعظم من ا ط ط ح فلنكن جميع
ا ط ط ك مساويا لخطّ ا ب فيكون الثقل عند ك و ك اكثر
انحطاطا من ح فيكون اذا جذبنا الثقل من عند علامة
ه عند ك واذا جذبناه من علامة د يكون عند ح
187

فيكون الثقل يرتفع من علامة د اكثر من ارتفاعه من علامة
ه والثقل الذى يرتفع الى مكان اقلّ ارتفعا لأنّ الذى يرتفع
الى مكان كثير الارتفاع يحتاج الى زمان أطول ʘ
يد لما صارت الأشياء التي تسير في الماء اذا كانت
على حائط واحد تكثر سرعة حركتها لأنّ الذى يكون
منها على الماء يكون يسيرا جدّا فيكون الذى يدعمه
الماء ايذا يسيرا والذى يناله من الريح يقوى على ذلك



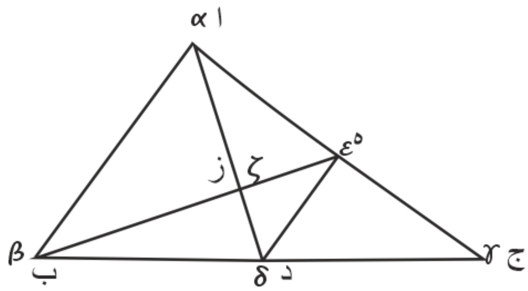
التمسنا
185
اليد عنا
وليكن
وأيضا فليكن الحبل
ج ح فيكون الثقل في موضع واحد
ولكن من اجل ان ا ه اعظم من ا ز

الماء الذى يضاده عند حركته⊙
يه لمادا صار السكّان وهو صغير جدّا يردّ سفنا عظاما
لأنّه اذا كان انسان يعدو فاجتذبه احد الى ايّ
جهة كانت لأنّه يميل الى تلك الجهة سرعا والسكان
يدعمه الماء فيقوى على السفينة⊙
يو لماذا صارت الأسهم تتغرّس في الدروع والجواشن
ولا تتغرس في الشراعات المنشورة لان الحمية اذا صارت
الى الشى الذى يجيبها ولا يمنعها لم يفعل فعلا شديداص
لأن سرعة الحركة وعظم القوّة تتفرّق عند ملاقاه الشيء
المجيب غير المانع فأمّا الشيء الصلب وقاومه فلم يتفّرق من
قوّته شيء فتكون ضربته عليه جدّا ولهذه العلّة سار الذين
يلقون انفسهم من بعد طويل في الماء لا ينالهم ضرر ⊙
189

يز لماذا صارت الرطوبات وهى في طبائعها ثقيلة
تتحرّك سريعا بسهولة لأنّا قد نرى الرجل الواحد يحرك
الف قسط من ماء في مرة واحدة لأنّ الماء متّصل
واجزاؤه سريعة التفرّق فاذا ليس كمثل الحجارة والخشب
مكتنزًا تعصب تجزئته لكنّه سهل التفريق ولذلك صار ليس
له ثبات في نفسه بل هو سيّال الى اسفل فعرض من ذلك
انّا نحرّك منه الجزء اليسير فتميل سائر اجزائه الى
ذلك الموضع الذى انتقل منه جزؤه اليسير⊙
[35] وقد يجب ان نبيّن أيضا أشياء في المقالة التي
قبل هذه ولكن أشياء أخر اشدّ احكاما من تلك قد
اوضحها ارشميدس وغير ذلك نخبّر كيف نستخرج
مركز ثقل مثلّث متساويي الثخن والثقل فليحن المثلّث
المعلوم مثلّث ا ب ج ونقسم خطّ ب ج بنصفين على علامة د
ولنصل علامتي ا د فان اقمنا المثلّث على خط ا د لم يمل
الى جهة من الجهات لان مثلثي ا ب د ا د ج متساويان
وأيضا إن قسمنا خطّ ا ج على علامة ه ووصلنا علامتي
ب ه فأن اقمنا المثلّث أيضا على خطّ ب ه لم يمل الى جهة

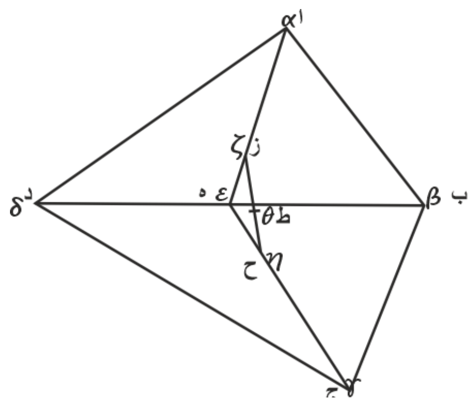
من الجهات فاذ كان المثلّث اذا أقيم على كل واحد من
خطّى ا د ب ه يعتدل اجزاؤه ولا يمل الى جهة من الجهات
191

فان علامة بقاطعهما المشتركة لهما هي مركز ذلك الثقل
وهى علامة ز وقد ينبغي ال نتوهم علامة ز في وسط ثخن
مثلث ا ب ج فيظهر لنا انّا اذا وصلنا علامتي ا د وقسمنا خطّ
ا د علي علامة ز بقسمين يكون احدهما الذى هو ا ز



ضعف ز د فان علامة ز تكون مركز الثقل لانا ان وصلنا
علامتي د ه يكون خطّ ا ب موازيا لخطّ د ه لان خطّى
ا ج ب ج قد قسما على علامتي د ه فاذًا خطّ ا ج عند ج ه
مثل ا ب عند ه د وخطّ ا ج ضعف خطّ ج ه فاذا خطّ ا ب
ضعف ه د وخطّ ا ب عند ه د كخطّ ا ز عند د ز فَإذًا خطّ
ا ز ضعف ز د من اجل ان شكلي ا ب ز و د ز ه متساويي
الزوايا⊙

[36] نريد ان نستخرج ذلك أيضا في المربعّ فليكن
الربّع المعلوم مربّع ا ب ج د وليصل ب د ونقصله بنصفين
على علامة ه وليصل خطّى ا ه ه ج ونقسمهما على علامتي
ز ح قسمة يكون ا ز ضعف ز ه و ح ج ضعف ح ه فيكون مركز
مثلث ا ب د على علامة ز ومركز مثلّث ب د ج على علامة
ح فليس نجد اختلافا في توهمنا انّ ثقل مثلّث ا ب د كلّه
عند علامة ز وأيضا ثقل مثلّث ب ج د عند علامة ح فقد
صار خطّ ز ح ميزانا في طرفيه هذان العظمان فأن لصلنا
193



خطّ ز ح على علامة ط فصلا يكون ط ح عند ز ط كثقل
ز الذى هن ثقل مثلّث ا ب د عند ثقل ح الذى هو ثقل
مثلّث ب د ج بكون علامة ط التي يتعادل عليها الثقلان
مركز ذلك المربّع ⊙

[37] نرد ان نبين ذلك في مخمّس ا ب ج د ه
فلنصل ب ه ونخرج مركز ثقل مثلّث ا ب ه وليقع على علامة ز
وليكن مركز ثقل مربّع ب ج د ه على علامة ح ولنصل علامتي
ز ح ونقسم خطّ ز ح بقسمين يكون قسم ح ط عند ط ز

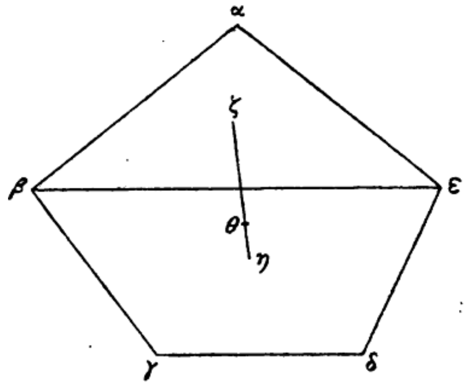


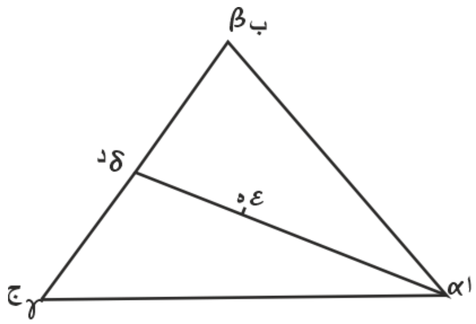
Fig. 43.

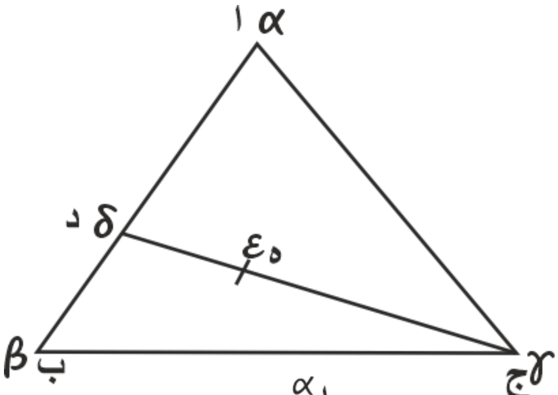
كثقل مثلّث ا ب ه عند ثقل مربّع ب ج د ه فتكون علامة ط
مركز ثقل شكل ا ب ج د ه وكذلك ينبغي ان نتوهّم في كلّ
شكل كثير الاضلاع ⊙

[38] نريد ان نبيّن اذا ككان مثلّث ا ب ج متساوي
الثخن والثقل وكانت قوائم تحت علامات ا ب ح متساوية
الوضع كيف نستخرج كميّة الثقل الذى تحتمل كلّ واحدة
منها من مثلّث ا ب ج فلنفصل خطّ ب ج بنصفين على
علامة ه قسمة يكون قسم ا ه ضعف ه د فتكون علامة ه
مركز جميع ثقل المثلث فينبغي ان نقسمه علا القوائم
195

ولكنّا إن توهّمنا خطّ ا د معتدلا الميل عند تعلّقه على
علامة ه يكون الثقل الذى عند د ضعف الثقل الذى
عند ا لأنّ خطّ ا ه ضعف خمّ ه د فان توهّمنا الثقل
الذى عند د منقسما علا علامتي ب ج وكان خطّ ب ج
معتدلا يكون عند كلّ واحدة من علامتي ب ج *نصف*
الثقل الذى عند د ضعف الثقل الذى عند ا فاذًا
الاثقال التي عند علامات ا ب ج متساوة فاذًا القوائم
تحمل اثقالا متساوية ⊙

[39] وأيضا فلليكن مثلث ا ب ج متساوا الثقل والثخن
على قوائم متساوية الوضع وليكن على علامة ه ثقل ما
موضوعا ان معلّقا ولتكن علامة ه واقعه حيهما وقعت

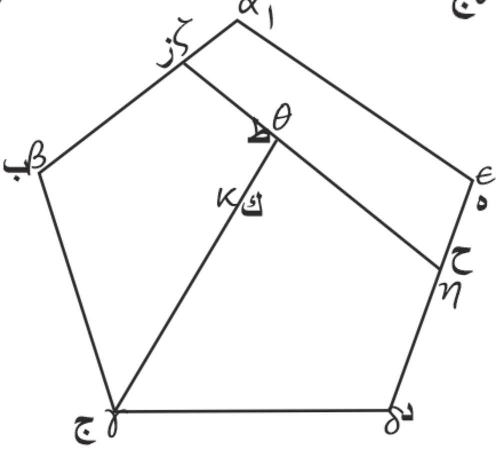




فنريد ان نستخرج كن تحتمل كلّ واحدة من القوائم من
ثقل ه فليصل ه ا ونخرجه الى د ونعسم الثقل الذى عند
ه بقسمين يكون اذا قوّم المثّلث على خطّ ا د يعتدل
فيكونا الثقل الذى عند د عند الثقل الذى عه ا مثل
قسمة يكون اذا علّق ب ج يعتدل فيكون ثقل ج عند
ثقل ب مثل خطّ ب د عند خطّ د ج والثقل الذى عند
197

د ملفوظ فعذًا الثقلان اللذان عند ب ج ملفوظان
ولكن الثقل اذى عند ا ملفوظ فاذًا الاثقال التي على
القوائم ملفوظة⊙

[40] نريد ان نستخرج اذا كان مثّلث ا ب ج وكانت
اثقال ما معلومة معلّقة على علامات ا ب ج علامةً في داجل
المثّلث اذا علّق بها المثلُ يعتدل نقسم خطّ ا ب على
علامة _ قسمة يكون خطّ ب د عند د ا كالثقل الذى
عند ا الى الثقل الذى عند ب فيكون مركز الثقل المجتمع
من الثقلين على علامة د فلنصل علامتي د ج بخطّ د ج
ونقسمه على علامة ه قسمة يكون خطّ ج ه عند ه د مثل
ثقل د عند ثقل ج فتكون علامة ه مركز الثقل المجتمع
من الجمع فاذا هي علامة العلاقة□



[41] نريد ان نبّن ذلك في شكل كثير الاضلاع
فليكن شكل ا ب ج د ه كثر الاضلاع ولنعلّق على علامات
ا ب ج د ه اثقالا معلمة ونقسم خطّ ا ب على علامة ز قسمة
يكون خطّ ب ز عند ز ا مثل ثقل ا عند ثقل ب فتكون
علامة ز مركز الثقلين اللذين عند ا ب ولنقسم أيضا خطّ
د ه على علامة ح قسمة يكون خطّ د ح عند خطّ ح ه مثل
ثقل ه عند د فتكون علامة ح مركز الثقل المجتمع
199
من علامتي ه د ونصل ز ح ونقسمه على علامة ط قسمة
يكون جميع ا ب عند جميع د ه مثل ح ط عند ط ز
فتكون علامة ط مركز الثقل المجتمع من علامات ا ب د ه
ولنصل علامتي ج ط بخطّ ج ط ونقسمه على علامة ك قسمة
يكون خطّ ج ك عنج ك ط كثقل ا ب د ه عند ثقل ج فاذًا

علامة ك مركز الثقل المؤلّف من الجميع⊙
تمّت المقالة الثانية من كتاب ايره
في رفع الأشياء الثقيلة⊙