

ΤΡΙΒΗ: ΜΙΑ «ΠΕΡΙΓΗΓΗΣΗ» ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ ΤΗΣ'

Πρόλογος

Τριβή είναι η δύναμη που αντιστέκεται στη σχετική κίνηση δύο στερεών σωμάτων ή υλικών ή στην τάση τους για σχετική κίνηση. Η διεύθυνση επενέργειας της είναι εφαπτομενική των επιφανειών επαφής. Επομένως η τριβή εμπλέκεται σε όλα τα φαινόμενα επαφής στερεών σωμάτων. Αποτελεί δηλαδή μια από τις πιο συχνά εμφανιζόμενες δυνάμεις στο μακρόκοσμο.

Επιλέξαμε να μελετήσουμε την έννοια της τριβής, αφενός γιατί είναι μια δύναμη που ερμηνεύει πολλά φαινόμενα της καθημερινής ζωής, π.χ. βάδισμα και κράτημα, αφετέρου γιατί παρουσιάζει επιστημονικό ενδιαφέρον τόσο η ύπαρξη πολλών μηχανισμών ερμηνείας των σχετικών φαινομένων, όσο και η προσεγγιστικότητα και οι αποκλίσεις των νόμων της.

Στο άρθρο αυτό γίνεται προσπάθεια να παρουσιαστούν οι νόμοι της τριβής, όπως ιστορικά ανακαλύφθηκαν και εξελίχθηκαν και να ερμηνευθούν με βάση τις κλασικές και τις σύγχρονες απόψεις.

Θεωρούμε ότι η αναζήτηση ιστορικών στοιχείων για την εξέλιξη της έννοιας συμβάλλει στον αρχικό μας στόχο, δηλαδή στη δημιουργία πλαισίου ανάλυσης των σχολικών εγχειριδίων, αλλά πιθανόν να μας οδηγήσει και σε χρήσιμα διδακτικά συμπεράσματα (2).

Οι απόψεις για την τριβή στην αρχαιότητα

Η τριβή εμπλέκεται σε δύο από τις πιο παλιές και βασικές επινοήσεις του ανθρώπου: στη φωτιά και τον τροχό. Ο προϊστορικός άνθρωπος, τρίβοντας ένα σκληρό σ' ένα μαλακό ξύλο, ανάβει φωτιά. Από την άλλη, η «υπερνίκηση» των τριβών με τον τροχό είναι επινοήση τόσο παλιά, που η χρονολόγηση της είναι προβληματική. Κι ακόμα, από την αρχαιότητα χρησιμοποιούνται λιπαντικά, όπως το ζωικό λίπος και τα φυτικά έλαια, για την ελάττωση των τριβών (8).

Όταν η ελληνική φιλοσοφία και τα ελληνικά μαθηματικά καταγράφουν και θεωρητικά όλα τα πρακτικά επιτεύγματα της αρχαιότητας (Πυθαγόρειο θεώρημα), η τριβή παρ' ότι αντιμετωπίζεται πρακτικά (λιπαντικά) δεν φαίνεται να μελετάται συστηματικά. Στην Αριστοτελική Φυσική η κινητική τριβή είναι περιττή. Τα σώματα σταματούν από μόνα τους, όταν πάψει να ενεργεί το αίτιο που τα κινεί. Κι όχι μόνο αυτό αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις όπως στην κίνηση του βέλους, κατά τρόπο παράδοξο, η τριβή, για την ακρίβεια εδώ η αντίσταση του αέρα, μια ειδική περίπτωση τριβής, αποτελεί κινητήριο παράγοντα. Ο αέρας που εκτοπίζει το βέλος όχι μόνο δεν το εμποδίζει, αλλά κλείνει πίσω του, δημιουργώντας προώθηση (11).

Συστηματική μελέτη της τριβής

Συστηματική μελέτη της τριβής γίνεται για πρώτη φορά από το Leonardo da Vinci (1452 -1512) που δύσκολα θα μπορούσε να την αποφύγει, αφού ένα από τα πολλά ενδιαφέροντα του ήταν και ο σχεδιασμός αεροδυναμικών οχημάτων. Οι απόψεις που διατυπώθηκαν από τότε μέχρι και τα τέλη του 19ου αιώνα, αποτελούν τις κλασικές απόψεις για την τριβή που συναντούμε στα σχολικά εγχειρίδια. Από τα τέλη του 19ου αιώνα μέχρι σήμερα, στα πλαίσια της αλματώδους ανάπτυξης των φυσικών επιστημών, διατυπώνονται νεότερες απόψεις για τη φύση και τις ερμηνείες της τριβής και υιοθετείται μια θεώρηση της τριβής ως μακροσκοπικής έκφρασης δυνάμεων ηλεκτρομαγνητικής φύσης μεταξύ των μορίων των τριβομένων επιφανειών.

Κλασικές απόψεις για την τριβή

Παρόλο που η έννοια της δύναμης δεν είναι ξεκαθαρισμένη ο Leonardo da Vinci στα σημειωματάρια του διατυπώνει τους νόμους της τριβής ως εξής:

Η τριβή που δημιουργείται από το ίδιο το βάρος θα έχει το ίδιο μέγεθος, παρόλο που η επαφή μπορεί να έχει διαφορετικό μήκος και πλάτος.

Η τριβή παράγει διπλάσιο αποτέλεσμα, αν το βάρος διπλασιασθεί (9).

Το περιεχόμενο των σημειωματάρων του ήταν άγνωστο μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα, οπότε μεταφέρθηκαν στο Παρίσι μετά την κατάκτηση της Ιταλίας από τις Ναπολεόντειες στρατιές, όταν πλέον είχαν επαναδιατυπωθεί οι νόμοι της τριβής, αρχικά από τον Amontons και αργότερα από τον Coulomb.

Η ενασχόληση των Γάλλων με την τριβή έχει σχεδόν το χαρακτήρα εθνικής σχολής με ενδιαφέρον για το θέμα που διαρκεί 150 χρόνια. Χαρακτηριστικό είναι πως οι περισσότεροι ερευνητές είναι μηχανικοί (Amontons) ή στρατιωτικοί μηχανικοί (Coulomb, Morin). Το κοινωνικό πλαίσιο καθορίζεται από την άνοδο της αστικής τάξης, τη βιομηχανική επανάσταση και το γεφύρωμα επιστήμης και τεχνικής. Οι επιστήμονες καλούνται να επιλύσουν τεχνολογικά προβλήματα. Επίσης η ανάγκη για τεχνολογική υποστήριξη του στρατού και του ναυτικού εξασφαλίζει τη συνεργασία διάσημων επιστημόνων.

Ο G. Amontons ασχολείται με τη δυσκολία των σχοινιών να κινηθούν σε τροχαλίες ή βαρούλκα και καταλήγει στους νόμους της τριβής το 1699. Επίσης μελετά την τριβή των στερεών χωρίς λίπανση.

Προτείνει ότι η τριβή είναι:

α. ανεξάρτητη από την επιφάνεια επαφής και β. ευθέως ανάλογη με την κάθετη δύναμη.

Πιο συγκεκριμένα θεωρεί ότι η τριβή είναι για όλα τα υλικά το 1/3 της κάθετης δύναμης. Το μοντέλο ερμηνείας της, σύμφωνα με τον Amontons, είναι αυτό των αλληλοσυμπλεκόμενων ανωμαλιών των επιφανειών επαφής (Bowden- Tabor 1958).

Βέβαια, όταν ο Leonardo Da Vinci και ο Amontons αναφέρονται στην τριβή, εννοούν τη στατική τριβή. Η ιδέα της κινητικής τριβής πιθανόν δεν υπήρχε πριν από τον Νεύτωνα (Sargent, 1983).

Οι απόψεις του Amontons επιβεβαιώνονται πειραματικά από τον De la Hire το 1732 και από το μεγάλο Ελβετό μαθηματικό Leonard Euler το 1750. Ο Euler ήταν ο πρώτος που δείχνει ότι ο συντελεστής τριβής είναι (σος με τη γωνία τριβής. Συντελεστής τριβής είναι ο λόγος της τριβής προς την κάθετη δύναμη $n = T/F_k$. Γωνία τριβής είναι η μεγαλύτερη γωνία που μπορεί να σχηματίσει μια επιφάνεια με τον ορίζοντα, έτσι ώστε το σώμα που βρίσκεται πάνω της να μην ολισθήσει (5, 10).

Ο De Camus και ο J. Desaiguiller το 1725 επισημαίνουν ότι η τριβή, όταν τα σώματα ηρεμούν, είναι μεγαλύτερη από την τριβή, όταν τα σώματα κινούνται (Dugas, 1988).

Το 1781 η Ακαδημία Επιστημών της Γαλλίας προκηρύσσει διαγωνισμό με θέμα τους νόμους της τριβής και τη σκληρότητα των σχοινιών, που να εφαρμόζονται σε μηχανές χρήσιμες στο Ναυτικό, όπως η τροχαλία, ο «εργάτης» και το **κεκλιμένο επίπεδο**.

Ο C. A. Coulomb κερδίζει το βραβείο το 1785 με το «Theorie des machines simples en ayant egard au frottement et a la roideur des cordages». Ο Coulomb επιβεβαιώνει τις προηγούμενες απόψεις με πειράματα μεγάλης ακρίβειας και συστηματοποιεί τη μηχανική της τριβής. Οι παράμετροι που μελετά ο Coulomb σε σχέση με την τριβή είναι:

α. η φύση των επιφανειών επαφής και οι επιστρώσεις τους β. η πίεση που επικρατεί στην επιφάνεια επαφής γ. το εμβαδόν των επιφανειών δ. ο χρόνος επαφής των μελετούμενων επιφανειών ε. η ταχύτητα μετακίνησης των εφαιπόμενων επιφανειών **στ.** δευτερευόντως, η υγρασία της ατμόσφαιρας.

Τα υλικά μελέτης του είναι υλικά που βρίσκονται σε χρήση εκείνη την εποχή, δηλαδή μελετά την τριβή σε επιφάνειες ξύλου με ξύλο (από διάφορα δέντρα), μετάλλου με μέταλλο και ξύλου με μέταλλο.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε ο Coulomb επιβεβαιώνουν κατηγορηματικά ότι η τριβή, όταν το σώμα ηρεμεί (στατική), είναι μεγαλύτερη από αυτήν όταν το σώμα κινείται (τριβή κίνησης).

Το καινούριο στοιχείο στη μελέτη της τριβής είναι η θέση πως η τριβή **είναι** ανεξάρτητη από τη σχετική ταχύτητα κίνησης των τριβομένων επιφανειών.

Το μοντέλο ερμηνείας του Coulomb είναι το ίδιο με του Amontons, δηλαδή αυτό των ανωμαλιών των τριβομένων επιφανειών που αλληλοσυμπλέκονται **και** δυσκολεύουν έτσι τη σχετική τους κίνηση (Dugas, 1988).

Ο Coulomb είχε συνείδηση του ρόλου που παίζουν οι συγκολλήσεις μεταξύ τριβομένων επιφανειών, αλλά θεώρησε τον παράγοντα αυτό ως μη σημαντικό (Briscoe, 1982).

Νεότερες απόψεις

Νεότερες έρευνες έγιναν από το στρατηγό A. J. Morin (1830) και τον G. A. Him (1854). Ο Morin επιβεβαιώνει τις απόψεις του Coulomb με πιο προσεκτικά σχεδιασμένα πειράματα. Ο Him ξεχωρίζει την τριβή μεταξύ λιπασμένων και την τριβή μεταξύ αλίπαντων σωμάτων και παρατηρεί ότι η επίδραση της ταχύτητας, της επιφάνειας

νειας επαφής και του βάρους διαφέρουν στις δύο περιπτώσεις. Όλοι συμφωνούν με το μοντέλο ερμηνείας των Amontons - Coulomb. Η δράση των λιπαντικών ερμηνεύεται με την υπόθεση ότι αυτά γεμίζουν τα κενά μεταξύ των ανωμαλιών και επίσης οι επιφάνειες γίνονται πιο ολισθηρές.

Οι νόμοι της ξηρής τριβής, όπως διατυπώθηκαν από τον Amontons και συμπληρώθηκαν κυρίως από τον Coulomb, είναι οι γνωστοί νόμοι που διδάσκονται στα σχολεία.

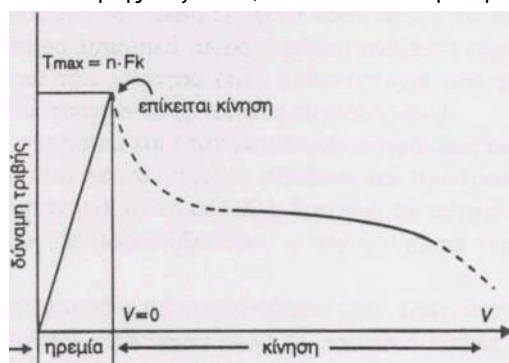
Αυτοί οι νόμοι και τα μοντέλα ερμηνείας δέχονται τα πρώτα ρήγματα από τα τέλη του 19ου αιώνα. Ο D. Gallon το 1878 κάνει πειράματα με ταχύτητες πάνω από 30 m/sec και καταλήγει ότι ο συντελεστής τριβής μειώνεται με την ταχύτητα. Το 1892 ο Sir A. Ewing θεωρεί ότι η τριβή οφείλεται σε μοριακές δυνάμεις. Το 1929 ο G. A. Tomlinson υπέθεσε ότι η τριβή οφείλεται στην ενεργειακή απώλεια που συμβαίνει, όταν τα μόρια που πιέζονται σε ατομικό επίπεδο διαχωρίζονται. Ο Sir W. Hardy (1936) θεώρησε ότι η τριβή μπορεί να ερμηνευτεί από ηλεκτρομαγνητικά πεδία που υπάρχουν στις επιφάνειες των στερεών (Bowden -Tabor, 1958, Bernat, 1961).

Οι Bowden και Tabor και συνεργάτες τους στο Cavendish Laboratory στο Cambridge ολοκλήρωσαν την ανάπτυξη του λεγόμενου μοντέλου των συγκολλήσεων για την ερμηνεία της τριβής κατά την περίοδο 1945-1970 (Briscoe, 1982).

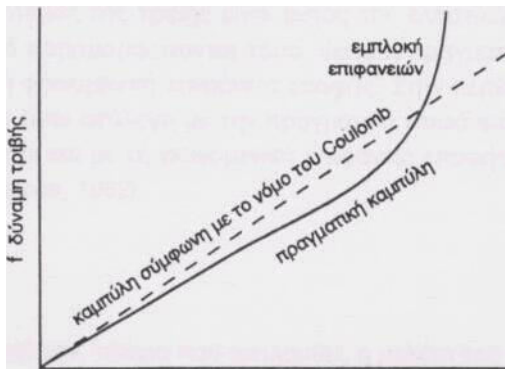
Στον αιώνα μας χρησιμοποιούνται νέες εργαστηριακές μέθοδοι και νέα υλικά για την μικροσκοπική εξέταση της τριβής, όπως τα ραδιενεργά μέταλλα, μέθοδοι οπτικής συμβολής, ηλεκτρονικά μικροσκόπια, μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας μέσω μεταλλικών επαφών, θερμοφωτογραφίες κ.λπ. Επίσης οι εξελίξεις στην ατομική και μοριακή φυσική και στη φυσική της στερεάς κατάστασης παρέχουν και το απαραίτητο θεωρητικό εργαλείο για τη μικροσκοπική εξέταση της τριβής.

Συνοπτικά τα νέα πειραματικά δεδομένα τροποποιούν τους νόμους και τα όρια ισχύος τους ως εξής:

- Η πέρα από ένα ορισμένο όριο λείανση των επιφανειών των μετάλλων οδηγεί σε αύξηση και όχι μείωση της τριβής.
- Αν μεταξύ λείων και καθαρών επιφανειών (χωρίς επιφανειακά οξειδία) αφαιρεθεί ο αέρας, εμφανίζουν τεράστιους συντελεστές τριβής (Sargent, 1983).
- Η τριβή είναι ανάλογη με το βάρος B και ανεξάρτητη από το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής μόνο στα στερεά που παραμορφώνονται πλαστικά (π.χ. μέταλλα, πολυμερή). Σε ελαστικά στερεά η τριβή είναι ανάλογη με το βάρος, υψωμένο στην $2/3$ (θεωρητικό δεδομένο), και αυξάνεται με το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής.
- Η ανεξαρτησία της τριβής από την ταχύτητα ισχύει μόνο για μικρές ταχύτητες. Σε πολύ υψηλές ταχύτητες ολίσθησης η τριβή ελαττώνεται με την ταχύτητα κατά συνεχή τρόπο. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες η τριβή ολίσθησης αυξάνεται, ώστε να ενωθεί με τη στατική τριβή χωρίς ασυνέχεια (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 Η δύναμη της τριβής ως συνάρτηση της ταχύτητας.



ένταση πίεσης

Σχήμα 2 Η δύναμη της τριβής ως συνάρτηση της πίεσης μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών (Bernat, 1961).

Ο ίδιος μηχανισμός εξηγεί επίσης και την αναλογία της τριβής με την κάθετη δύναμη. Αφού η πραγματική επιφάνεια επαφής είναι πολύ μικρή, αύξηση της κάθετης δύναμης σημαίνει πολύ μεγάλες πιέσεις στα σημεία επαφής, τήξη και πλαστική ροή του υλικού, που αυξάνουν τον αριθμό των πραγματικών επαφών μέχρι να συγκρατηθεί η αυξημένη κάθετη δύναμη. Αλλά τότε αυξάνεται και ο αριθμός των μοριακών δεσμών επομένως και η τριβή.

Με τον ίδιο μηχανισμό εξηγείται και η ανεξαρτησία της τριβής από τη φαινομενική επιφάνεια επαφής. Αύξηση της φαινομενικής επιφάνειας επαφής για δεδομένο βάρος, σημαίνει, αφενός αύξηση του αριθμού προεξοχών επαφής, αφετέρου μείωση της πραγματικής επιφάνειας επαφής καθεμιάς προεξοχής (λόγω μικρότερης πίεσης). Επομένως η συνολική πραγματική επιφάνεια επαφής παραμένει σταθερή, άρα και η τριβή (Bernat, 1961).

Αν θέλουμε να ελαττώσουμε την τριβή αρκεί να κρατήσουμε τις δύο επιφάνειες μακριά τοποθετώντας κάποιο λιπαντικό (υγρό ή αέριο) ανάμεσα τους. Οι μοριακοί δεσμοί ανάμεσα στα μόρια του ρευστού είναι ασθενέστεροι από τους δεσμούς ανάμεσα τα μόρια των δύο στερεών (στις τοπικές συγκολλήσεις).

Ελάττωση της τριβής συμβαίνει και όταν μεταλλικές επιφάνειες εκτίθενται στον αέρα. Τότε καλύπτονται από λεπτό στρώμα οξειδίων και προσροφούν αέρια ή ατμούς που δρουν σαν λιπαντικά. Αν τα μέταλλα βρεθούν σε υψηλό κενό και απομακρυνθούν και τα τελευταία μόρια οξειδίων, η τριβή αποκτά τεράστιες τιμές (Tabog, 1981).

Κατά τη λείανση των επιφανειών, πέρα από κάποιο όριο, ελαττώνεται ο ένας παράγοντας, δηλαδή η εμπλοκή ανωμαλιών αλλά αυξάνεται ο κύριος παράγοντας, δηλαδή οι τοπικές συγκολλήσεις. Άρα η τριβή αυξάνεται.

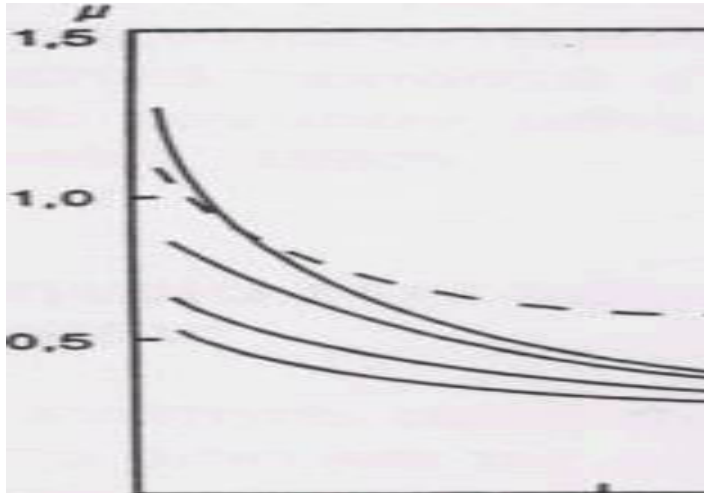
Όταν οι μεταλλικές επιφάνειες ολισθήσουν με μεγάλη ταχύτητα, ένα **λεπτό** στρώμα μετάλλου τήκεται και δρα σαν λιπαντικό. Έτσι η τριβή ελαττώνεται.

Η απόκλιση των ελαστικών από το νόμο $T = n \cdot Fk$ εξηγείται από το γεγονός ότι γι' αυτά ο κύριος μηχανισμός της τριβής είναι αυτός της ελαστικής υστέρησης. Επιπλέον τα υλικά αυτά παραμορφώνονται τόσο, ώστε η πραγματική επιφάνεια επαφής να πλησιάζει τη φαινομενική επιφάνεια επαφής. Στην περίπτωση αυτή η δύναμη της τριβής που είναι ανάλογη με την πραγματική επιφάνεια επαφής φαίνεται να συµμεταβάλλεται και με τη φαινομενική επιφάνεια επαφής, αφού αυτές σχεδόν συμπίπτουν (Briscoe, 1982).

Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα που ακολουθεί, η μελέτη της τριβής ξεκινά την εποχή της Αναγέννησης, γίνεται συστηματικότερη από πλευράς μεθοδολογίας και αξιοπιστίας την εποχή της Βιομηχανικής επανάστασης και έπεται της διατύπωσης των νόμων του Νεύτωνα.

Οι νόμοι της τριβής είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τα υλικά μελέτης, εν αντιθέσει με τους νόμους διατήρησης ή τους νόμους της Νευτώνειας σύνθεσης που ισχύουν για κάθε υλικό. Η εξάρτηση της τριβής από την κάθετη δύναμη και η ανε- Στα μέταλλα οι νόμοι της τριβής ισχύουν για ενδιάμεσες πιέσεις. Σε πολύ μεγάλες και πολύ μικρές πιέσεις (Σχήμα 3) η τριβή δεν ακολουθεί το νόμο του Coulomb (Σχήμα 2) (Bernat 1961, Briscoe 1982).



Σχήμα 3 Ο συντελεστής της τριβής ως συνάρτηση της κάθετης δύναμης.

Οι καινούριες θεωρίες για την ξηρή τριβή (χωρίς λιπαντικά) προβλέπουν πολλούς μηχανισμούς που να την ερμηνεύουν:

α. Ο κύριος μηχανισμός, με τον οποίο εξηγείται πάνω από το 90% της συνολικής δύναμης τριβής είναι αυτός των τοπικών συγκολλήσεων ανάμεσα στις προεξοχές των επιφανειών επαφής. Σε γενικές γραμμές, οι δύο επιφάνειες απέχουν μεταξύ τους πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες ατομικές διαμέτρους και έρχονται σε πραγματική επαφή σε λίγες μόνο προεξοχές τους, όπου και αναπτύσσονται δεσμοί ηλεκτρομαγνητικής φύσης μεταξύ των μορίων τους. Έτσι η πραγματική επιφάνεια επαφής είναι πολύ μικρότερη από τη φαινομενική επιφάνεια επαφής (της επιφάνειας που φαίνεται εξωτερικά ότι ακουμπούν τα δύο υλικά). Η τριβή αντιπροσωπεύει τη δύναμη που χρειάζεται για να σπάσουν αυτοί οι δεσμοί, είναι ανάλογη με τον αριθμό τους και επομένως είναι ανάλογη με την πραγματική επιφάνεια επαφής.

β. Άλλος μηχανισμός είναι αυτός του οργώματος και συμβαίνει μεταξύ υλικών διαφορετικής σκληρότητας. Η σκληρή επιφάνεια οργώνει τη μαλακή. Η τριβή που αναπτύσσεται εξαρτάται από το όριο τάσης του μαλακού υλικού και από το γεωμετρικό σχήμα και τις προεξοχές του σκληρότερου υλικού.

γ. Ο τρίτος μηχανισμός εξαρτάται από τις συμπλοκές των επιφανειακών ανωμαλιών. Είναι αυτός που πρότειναν αρχικά ο Amontons και αργότερα ο Coulomb και ερμηνεύει τα υλικά με έντονες επιφανειακές ανωμαλίες.

δ. Ο τέταρτος μηχανισμός είναι η ελαστική υστέρηση. Όταν υπάρχει ελαστική συμπίεση και μετά λασκάρισμα του υλικού, δεν επανακτάται όλη η ενέργεια που δόθηκε. Σημαντικό μέρος της τριβής των ελαστικών οφείλεται σε αυτήν.

ε. Ο πέμπτος μηχανισμός αφορά στην ηλεκτροστατική έλξη μεταξύ των επιφανειών. Η τριβή είναι η απαραίτητη δύναμη που απαιτείται για να χωριστούν τα θετικά από τα αρνητικά φορτία που αναπτύχθηκαν στις τριβόμενες επιφάνειες. Ο μηχανισμός αυτός είναι σημαντικός για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των ηλεκτρικών μονωτικών υλικών.

Κατά κανόνα, για να ερμηνευτεί η προέλευση μιας συγκεκριμένης δύναμης τριβής, χρειάζονται οι περισσότεροι ή και όλοι οι προηγούμενοι μηχανισμοί, αν και σε διαφορετικό ποσοστό ο καθένας. Γι' αυτό και οι απλοί νόμοι των Amontons -Coulomb ισχύουν μόνο κατά προσέγγιση και όχι σε όλες τις περιπτώσεις (Rabinowicz. 1982).

Ερμηνεία των νόμων της τριβής με κλασικές και σύγχρονες απόψεις

Στην ενότητα αυτή θα προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τους νόμους της τριβής, τα όρια και τις αποκλίσεις τους, σύμφωνα με το κλασικό μοντέλο ερμηνείας, καθώς και με τον κυριότερο από τους νεότερους μηχανισμούς που προτάθηκαν για την ερμηνεία της τριβής.

Όπως αναφέρθηκε, μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα, το κυρίαρχο μοντέλο για την ερμηνεία της τριβής ήταν

αυτό των αλληλο εμπλεκόμενων προεξοχών των δύο επιφανειών επαφής. Η τριβή είναι η δύναμη η απαραίτητη για να λυγίσουν ή να σπάσουν ή να ανέβουν οι προεξοχές της μιας επιφάνειας πάνω από τις προεξοχές της άλλης, προκειμένου να επιτευχθεί κίνηση. Το μοντέλο αυτό μπορεί να δώσει και μια ποιοτική ερμηνεία των νόμων τριβής. Όταν αυξάνεται η κάθετη δύναμη, μεγαλώνει η εμπλοκή των προεξοχών, άρα και η δύναμη τριβής.

Αντίθετα, η αύξηση του εμβαδού της επιφάνειας επαφής δεν επηρεάζει την τριβή. Αυξάνεται, βέβαια, ο αριθμός των εμπλεκόμενων προεξοχών ελαττώνεται όμως η κατανομή φορτίου ανά προεξοχή, με αποτέλεσμα η εμπλοκή να γίνεται ασθενέστερη, Ο ένας παράγοντας αναιρεί τον άλλον και η τριβή παραμένει σταθερή. Η δράση των λιπαντικών συνίσταται στο να γεμίζουν τα κενά ανάμεσα στις προεξοχές. Έτσι η εμπλοκή των προεξοχών περιορίζεται και η τριβή ελαττώνεται. Το μοντέλο αυτό όμως δεν μπόρεσε να εξηγήσει όλα τα νεότερα στοιχεία που ήδη συζητήθηκαν (π.χ. εξάρτηση της τριβής από την επιφάνεια στην περίπτωση των ελαστικών). Για να εξηγηθούν τα στοιχεία αυτά, αναπτύχθηκε κυρίως το μοντέλο **των** συγκολλήσεων, αλλά και οι άλλοι μηχανισμοί που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Ο μηχανισμός των τοπικών συγκολλήσεων ερμηνεύει γιατί η στατική είναι μεγαλύτερη από την κινητική τριβή. Όταν οι δύο επιφάνειες βρίσκονται σε ηρεμία, υπάρχει η δυνατότητα να αναπτυχθούν μοριακοί δεσμοί στην μεσεπιφάνεια, ενώ, όταν οι επιφάνειες κινούνται (μεταξύ τους), οι μοριακοί δεσμοί δεν προλαβαίνουν να σχηματιστούν και ξανασπάνε. ξαρτησι'α από το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής αποτελούν νόμους που ισχύουν μέχρι τα τέλη του προηγούμενου αιώνα, οπότε διαφοροποιούνται για κάποια νέα υλικά (ελαστικά) και για κάποιες οριακές συνθήκες (πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές πιεστικές δυνάμεις). Η εξάρτηση της τριβής από την ταχύτητα δεν γίνεται αντιληπτή μέχρι τα τέλη του προηγούμενου αιώνα, οπότε πιθανόν να **αναπτύχθηκαν** μεγάλες ταχύτητες,

Το μοντέλο ερμηνείας της τριβής, που στηρίζεται στις αλληλοεμπλεκόμενες **ανωμαλίες** των τριβόμενων επιφανειών, είναι κυρίαρχο μέχρι τον 20ο αιώνα, οπότε αντικαθίσταται από πολλά μοντέλα με κυρίαρχο αυτό των ατομικών συγκολλήσεων. Το τελευταίο είναι εναρμονισμένο με τη μικροσκοπική θεώρηση της ύλης, που είναι η επικρατούσα αυτήν την περίοδο. Τα υπόλοιπα ερμηνευτικά μοντέλα μάλλον σχετίζονται με συγκεκριμένο υλικά.

Οι περισσότερες τεχνολογικές εφαρμογές? μέσο στους αιώνες στοχεύουν στην ελάττωση της τριβής (μείωση των ενεργειακών απωλειών π.χ, λιπαντικά) ή στη χρήση της ως επιβραδύνουσας δύναμης (φρένα) ή δύναμης λείανσης (τόρνος). Η μελέτη των νόμων της τριβής έγινε κύρια από μηχανικούς (Amontons, Coulomb, Morin, κ.λπ.), και πιθανόν να αποτελεί ένα παράδειγμα ανακάλυψης νόμων της Φυσικής, ως αποτέλεσμα της εξέλιξης της τεχνολογίας,

Η πρώτη προσέγγιση **των** νόμων **από** το Leonardo Da Vinci στηρίζεται στην εμπειρική μεθοδολογία της εποχής του ενώ οι ερευνητές του 18ου αιώνα χρησιμοποιούν την πειραματική διαδικασία προσέγγισης, που αποτελεί καινούριο μεθοδολογικό στοιχείο των Φυσικών Επιστημών,

θα πρέπει τέλος να παρατηρήσουμε ότι στη διδακτική πράξη κρατούμε τις κλασικές ερμηνείες (μοντέλο ανωμαλιών), γιατί είναι συνοπτικές, καλύπτουν μεγάλο εύρος φαινομένων και είναι εποπτικές.