

αναζητώντας κάποια σταθερότητα
στη διάρκεια μιας μεταβολής

Οι (4) νόμοι διατήρησης της Φυσικής

που όμως είναι (7)

είναι ουσιαστικά **αρχές** αφού ισχύουν αξιωματικά

*...όλα τριγύρω αλλάζουνε κι όλα τα ίδια μένουν
κι εμένα τα χεράκια της με λύνουν και με δένουν...*

Οι 4 πρώτοι μπορούν να προκύψουν κλασικά από τους νόμους του Νεύτωνα, αλλά είναι πιο γενικοί και ισχύουν και στη σύγχρονη (μη Νευτώνεια) φυσική.

1. **Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας (Α.Δ.Ε.)**

«**Η ολική ενέργεια μονωμένου συστήματος διατηρείται**» (παραμένει σταθερή).

- Η ενέργεια μπορεί να μεταφέρεται (ανταλλάσσεται) και να μετασχηματίζεται, αλλά **δεν μπορεί να δημιουργηθεί από το τίποτα, ούτε να καταστραφεί**.
- Στη σύγχρονη φυσική περιλαμβάνει και τη μάζα, που με βάση τη θεωρία της σχετικότητας είναι ισοδύναμη με την ενέργεια ($E = m \cdot c^2$).
- Ισχύει για κάθε διεργασία στη φύση που γίνεται μεταξύ δύο καταστάσεων ισορροπίας, ανεξάρτητα αν η διεργασία αυτή περιλαμβάνει καταστάσεις ισορροπίας ή όχι.

Ιστορικό:

- Μετά την ανακάλυψη (το 1840) ότι και η θερμότητα είναι μια άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο, διατυπώθηκε ο **πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής** (που είχε διαφύγει από διάνοιες σαν τον Γαλιλαίο και τον Νεύτωνα): $\Delta U = Q - W$ (ή για απειροστές μεταβολές της κατάστασης του συστήματος με τη διαφορική μορφή: $dU = dQ - dW$) .
- Ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα τον ίδιο περίπου χρόνο, από τον Γερμανό γιατρό J.R. **Mayer**, τον Άγγλο βιομήχανο James Prescott **Joule** και τον φυσικό Herman Von **Helmoltz** στη Δανία.
- Από τότε εμπλουτίστηκε και με άλλες μορφές, που ανακαλύφθηκαν και που μπορούν να μετατραπούν η μία στην άλλη. Η κινητική ενέργεια σχετίζεται με την μοριακή κίνηση που ονομάζουμε θερμική ενέργεια. Η ενέργεια που προκύπτει από τι ατομικές και μοριακές ανακατατάξεις ατόμων και μορίων εξαιτίας

ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων την ονομάζουμε χημική ενέργεια. Την ενέργεια από τις κινήσεις φορτισμένων σωματιδίων, όπως πχ τα ηλεκτρόνια, ονομάζουμε ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια είναι πάντα η ίδια, απλώς εμείς την αντιλαμβάνομαστε κάθε φορά διαφορετικά (σαν το νερό, που αλλάζει μορφή ανάλογα με το δοχείο που το βάζουμε).

- Στη Μηχανική, όταν δεν υπάρχουν αντιστάσεις και τριβές, η ΑΔΕ γράφεται ως **Αρχή Διατήρησης της Μηχανικής Ενέργειας**

ή **ΑΔΜΕ** : $K + U = K' + U'$

(ισχύει για ένα σώμα ή για μονωμένο σύστημα σωμάτων)

Η δυναμική ενέργεια (U) μπορεί να οφείλεται:

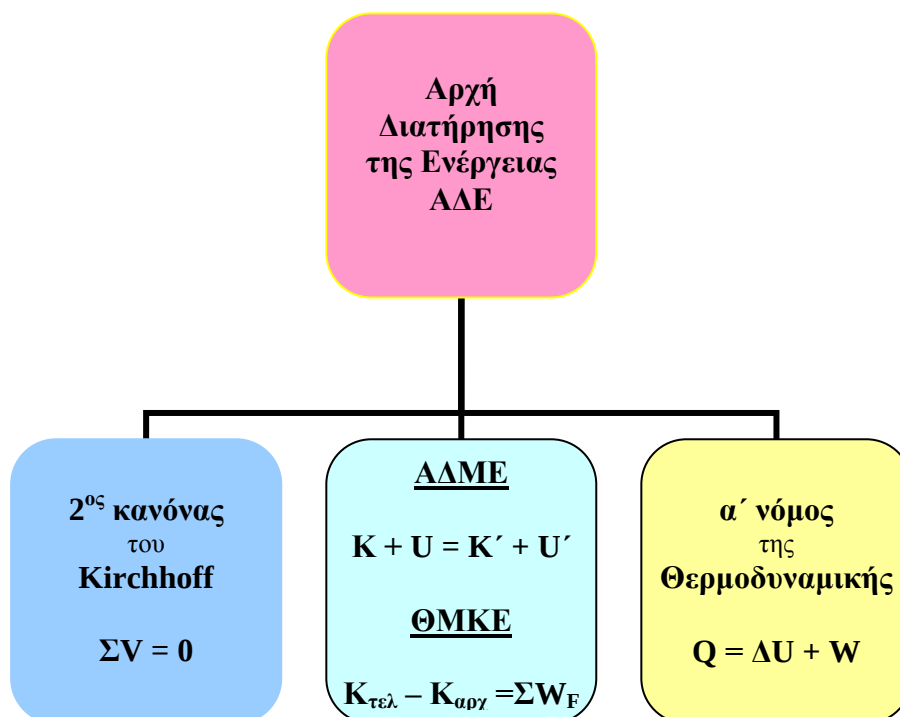
- σε πεδίο βαρύτητας $U = Bh = GMm/(R+h)$
- σε ηλεκτρικό πεδίο $U = k Qq/R$
- σε παραμορφωμένο ελατήριο $U = \frac{1}{2} k (\Delta l)^2$

Η δυναμική ενέργεια (U) αναφέρεται πάντα σε σύστημα 2 σωμάτων, αλλά συνήθως θεωρούμε το ένα (πχ τη Γη) σαν αναφορά (με ενέργεια μηδέν), άρα αποδίδουμε όλη την ενέργεια του συστήματος στο άλλο.

- Για ένα μόνον σώμα, ακόμα κι αν υπάρχουν τριβές, η ΑΔΕ εκφράζεται ως **Θεώρημα Μεταβολής της Κινητικής Ενέργειας**

ή **ΘΜΚΕ**: $K_{\text{τελ}} - K_{\text{αρχ}} = \Sigma W_{F_{\text{εξ}}}$

- Στον Ηλεκτρισμό, για ένα οποιοδήποτε κλειστό κύκλωμα την ΑΔΕ εκφράζει ο **2^{ος} κανόνας του Kirchhoff** : $\Sigma(\Delta V) = 0$



2. Αρχή Διατήρησης της Ορμής (Α.Δ.Ο.):

«Όταν το διανυσματικό άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σύστημα είναι μηδέν, η ολική ορμή του συστήματος δεν μεταβάλλεται».

Συμβολικά, αν $\Sigma \mathbf{F}_{\text{εξ}} = \mathbf{0}$, τότε $\mathbf{P}_{\text{ολ}} = \text{σταθ.}$ $\{ \mathbf{P}_{\text{ολ}} (\text{πριν}) = \mathbf{P}_{\text{ολ}} (\text{μετά}) \}$

$$\vec{P}_{\text{πριν}} = \vec{P}_{\text{μετά}} \rightarrow \quad \text{Η ορμή ενός σώματος είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που είναι ίσο με το γινόμενο της μάζας του σώματος επί την στιγμιαία ταχύτητά του.}$$
$$m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

- Είναι εξαιρετικά απλή και ανακαλύπτει (στην υποατομική φυσική) σωματίδια που δεν βλέπουμε. Αν δηλαδή στα παρατηρούμενα σωματίδια δεν ισχύει η ΑΔΟ, ψάχνουμε κάποιο ακόμα (και το βρίσκουμε), έτσι ώστε να σώζεται η αρχή.
- Αφού η ορμή είναι διανυσματικό μέγεθος, η ΑΔΟ είναι στην πραγματικότητα 3 νόμοι συγχωνευμένοι σε έναν (ένας σε κάθε διάσταση: xx' , yy' , zz'). Για κίνηση σε έναν άξονα (πχ μετωπική κρούση) μας δίνει μία εξίσωση, για κίνηση σε επίπεδο (πχ πλάγια κρούση) δύο, ενώ για κίνηση στο χώρο τρεις εξισώσεις.
- Ισχύει σε κάθε μονωμένο σύστημα, είτε συγκρούονται τα σώματα είτε όχι (πχ σκέδαση σωματίου α^+ από πυρήνα), είτε είναι συντηρητικές οι δυνάμεις είτε όχι.
- Στην μικροσκοπική φυσική, όπου οι δυνάμεις της αλληλεπίδρασης δεν είναι γνωστές, αλλά και καθυστερούν χρονικά, δεν μπορούμε να πούμε πχ σε ποια στιγμή είναι ίσες η δράση και η αντίδραση, ενώ η ορμή του συστήματος είναι σταθερή ανά πάσα χρονική στιγμή.

Άλλωστε πέραν της ορμής που οφείλεται στις μάζες του συστήματος, εδώ παίζουν και τα φωτόνια και άλλα σωματίδια μηδενικής μάζας, που παρόλα αυτά μεταφέρουν ορμή και ενέργεια

- Μαζί με τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα αποτελούν τους βασικούς νόμους αλληλεπίδρασης μεμονωμένου συστήματος.
- Μπορεί να προκύψει από τους 2^ο και 3^ο νόμο του Νεύτωνα. Θα μπορούσε να αντικαταστήσει σαν βασικό αξίωμα τον 3^ο, ο οποίος θα προέκυπτε τότε από την ΑΔΟ και τον 2^ο νόμο.

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} = m\Delta \mathbf{U} / \Delta t = \Delta \mathbf{P} / \Delta t \quad \text{άρα } \Delta \mathbf{P} = \Sigma \mathbf{F} \cdot \Delta t \text{ και αν } \Sigma \mathbf{F} = \mathbf{0}, \text{ τότε } \Delta \mathbf{P} = \text{σταθ.}$$

- Η επιλογή του Νεύτωνα για τον 3^ο στηρίχτηκε στην προτίμησή του για τη θεμελίωση της Μηχανικής στην έννοια της δύναμης. Αργότερα (τον 18^ο και 19^ο αιώνα) η έννοια δύναμη υποχωρεί (δεν είναι πια χρήσιμη) και κερδίζουν έδαφος οι έννοιες 'ενέργεια' και 'ορμή', την οποία ο Νεύτωνας ονόμαζε «ποσότητα κίνησης».

3. Αρχή Διατήρησης της Στροφορμής (Α.Δ.Στρ.)

«Αν η συνολική εξωτερική ροπή σε ένα σύστημα είναι μηδέν, η ολική στροφορμή του συστήματος παραμένει σταθερή (διατηρείται)».

- Συμβολικά, αν $\Sigma \tau_{\text{εξ}} = 0$, τότε $L_{\text{ολ}} = \text{σταθ.}$
- Ισχύει στην (περι)στροφική κίνηση και είναι ανάλογη με την ΑΔΟ (που ισχύει στην μεταφορική κίνηση). Περιλαμβάνει την τροχιακή στροφορμή, αλλά και τη στροφορμή του **spin** (λόγω ιδιοπεριστροφής γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο ενός στρεφόμενου σώματος).

4. Αρχή Διατήρησης του Ηλεκτρικού Φορτίου (Α.Δ.Η.Φ.)

- Εκφράζεται από τον 1^ο κανόνα του Kirchhoff ($\Sigma I_K = 0$), που ισχύει σε κάθε κόμβο ενός ηλεκτρικού κυκλώματος και δηλώνει ότι ένας κόμβος δεν μπορεί να είναι ούτε 'πηγή', αλλά ούτε και 'καταβόθρα' ηλεκτρικών φορτίων.
- Ακόμα απλούστερα: όσα ηλεκτρικά φορτία έρχονται σε ένα κόμβο, τόσα και φεύγουν από αυτόν.
- Εξασφαλίζει την (είναι υπεύθυνη για την) μη διάσπαση του ηλεκτρονίου.

Συμπλήρωμα:

Πέραν των ανωτέρω αναφερομένων γνωστών τεσσάρων, που είναι γνωστοί από την μακροσκοπική περιγραφή του κόσμου, έχουμε και **τρεις νόμους διατήρησης των αριθμών οικογένειας**: 1. του **βαρυονίου** (βαρυόνια θεωρούνται τα πρωτόνια και όλα τα βαρύτερα τους σωματίδια), 2. του **ηλεκτρονίου** και 3. του **μιονίου**, που ανακαλύφθηκαν με τη μελέτη των μετασχηματισμών των σωματιδίων και σχετίζονται με τους κβαντικούς αριθμούς των κατηγοριών των σωματιδίων.

Η μόνη απαγόρευση στη χαοτική διαδοχή γεγονότων στον κόσμο των υποατομικών σωματιδίων είναι εκείνη που επιβάλλεται από τους νόμους της διατήρησης.

Αναλυτικότερα:

5. Αρχή Διατήρησης του αριθμού της οικογένειας του **βαρυονίου**: $N_B - N_{B'} = \text{σταθ}$

- Ο ολικός βαρυονικός αριθμός (ο αριθμός δηλαδή των βαρυονίων, μείον τον αριθμό των αντιβαρυονίων) σε κάθε μετασχηματισμό παραμένει σταθερός.
- Έτσι εξηγείται η σταθερότητά του πρωτονίου (χρόνος ημιζωής 2.18^{28} έτη), που το κάνει μια κατάλληλη δομική μονάδα για το σύμπαν.
- Αφού δεν υπάρχει μικρότερο βαρυόνιο, το πρωτόνιο δεν μπορεί να διασπασθεί.
- Το νετρόνιο που είναι από μόνο του ασταθές (χρόνος ημιζωής περίπου 1000 sec) σταθεροποιείται στον πυρήνα γιατί η πυρηνική δύναμη είναι αρκετά ισχυρή για να

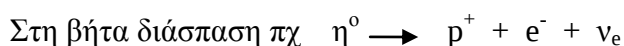
ελαττώσει την ενέργεια του και να εμποδίσει τη διάσπαση του (αλλιώς το σύμπαν θα αποτελείτο μόνο από υδρογόνο).

6. Αρχή Διατήρησης του αριθμού της οικογένειας του ηλεκτρονίου

- Περιλαμβάνει μόνον το ηλεκτρόνιο και το νεutrίνο του.

7. Αρχή Διατήρησης του αριθμού της οικογένειας του μιονίου (περιλαμβάνει μόνον το μιονίο και το νεutrίνο του). Μέχρι το 1962 ηλεκτρόνιο και μιονίο θεωρούνταν πως ανήκουν στην ίδια οικογένεια των λεπτονίων.

Παράδειγμα:



Πρόκειται για μία πυρηνική αντίδραση, όπου έχουμε:

1. Διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου {μηδενικό το φορτίο του νετρονίου στο α' μέλος, αλλά και στο δεύτερο αφού $+1 + (-1) = 0$ },
2. Διατήρηση του βαρυονικού αριθμού: ένα βαρυόνιο στο α' μέλος (το νετρόνιο) και ένα στο β' μέλος (το πρωτόνιο)
3. Διατήρηση του ηλεκτρονικού αριθμού.

... και ολίγα περί συμμετρίας

Η συμμετρία αποτελεί θεμελιώδη ιδέα της Φυσικής. Γενικά, οι νόμοι της Φυσικής, εμπεριέχουν εντυπωσιακές συμμετρίες.

Άλλες συμμετρίες γίνονται αντιληπτές με γεωμετρικούς όρους. Ένα σωματίδιο που περιστρέφεται μπροστά σ' ένα καθρέπτη αριστερόστροφα, το είδωλο του περιστρέφεται δεξιόστροφα (**χωρική συμμετρία**).

Και το σωματίδιο και το είδωλο του, συμπεριφέρονται με τρόπους επιτρεπτούς με τους νόμους της Φυσικής, που είναι συμμετρικοί μ' αυτή την έννοια. Δηλαδή το είδωλο στον καθρέπτη περιστρέφεται όπως το σωματίδιο, αν είχε αντιστραφεί ο χρόνος. Αν όμως αντιστραφεί ο χρόνος και πάρουμε το είδωλο στον καθρέπτη τότε το είδωλο περιστρέφεται όπως το αρχικό. Επανερχόμαστε λοιπόν εκεί που ξεκινήσαμε, με τις δύο αντιστροφές.

Άλλο παράδειγμα έχουμε στον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, αν κάνουμε κατοπτρική ανάκλαση, η δύναμη και η επιτάχυνση αλλάζουν κατεύθυνση κατά τον ίδιο τρόπο. Έτσι ο νόμος του Νεύτωνα παραμένει αναλλοίωτος σ' αυτή την αλλαγή.

Υπάρχει και η συμμετρία του σωματιδίου και αντι-σωματιδίου. Επί παραδείγματι η συμμετρία ηλεκτρονίου - ποζιτρονίου, όπου το ένα μπορεί να θεωρηθεί το συζυγές του άλλου, στον αντεστραμμένο χρόνο.

Στην κλασική Φυσική λοιπόν, αλλά και στην Κβαντική Μηχανική αργότερα το αναλλοίωτο του χώρου και του χρόνου ήταν βασικές αρχές.

Σύμφωνα με το **θεώρημα του Noether**: «κάθε συμμετρία συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιου μετρήσιμου μεγέθους που παραμένει σταθερό (νόμος διατήρησης του αντίστοιχου μεγέθους)».

Για παράδειγμα, οι βασικές εξισώσεις της κινηματικής είναι συμμετρικές ως προς τον χρόνο. Έτσι βλέπουμε οι εξισώσεις της κινηματικής να είναι το ίδιο αποτελεσματικές είτε έχουμε θετικούς χρόνους είτε αρνητικούς χρόνους (χρονική συμμετρία).

Στη σύγχρονη φυσική θεωρούμε ότι οι αρχές διατήρησης εκφράζουν κάποιες μορφές **συμμετρίας** του χώρου ή του χρόνου.

- Η **Α.Δ.Ε** πχ εκφράζει την **ομογένεια του χρόνου** (λαϊκότερα το «... τι Τρίτη, τι Τετάρτη ...»)
- Η **Α.Δ.Ο** εκφράζει την **ομογένεια του χώρου**, την ομοιομορφία της θέσης, (ίδιος σε όλες τις περιοχές ή λαϊκότερα το... τι Λωζάνη, τι Κοζάνη)
- Ενώ η **Α.Δ.Στρ** εκφράζει την **ισοτροπία του χώρου** (ομοιομορφία κατεύθυνσης: ο χώρος είναι ίδιος σε όλες τις διευθύνσεις)

Η συμμετρία αυτή, που εφαρμόζεται τόσο στο νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα, όσο και στο επίπεδο των ατόμων, γνωστή και ως συμμετρία ως προς τις **στροφές**, υποδηλώνει ότι η εξέλιξη με το χρόνο ενός απομονωμένου συστήματος δεν εξαρτάται από τον αρχικό του προσανατολισμό στο χώρο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απόλυτες κατευθύνσεις αλλά σχετικές. Από αυτή τη συμμετρία προέρχεται η διατήρηση της **Στροφομής** του συστήματος ως προς τον χρόνο.

Στον μικρόκοσμο, παρατηρούνται αρκετές συμμετρίες: Έτσι, οι αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων είναι συμμετρικές ως προς τη μετατόπιση τους ως προς τον **χρόνο** και **χώρο**. Σαν συνέπεια αυτών των δύο συμμετριών έχουμε τη διατήρηση της ενέργειας και της ορμής, αντίστοιχα.

Η τρίτη συμμετρία έχει να κάνει με τον **προσανατολισμό στο χώρο**. Οι αλληλεπιδράσεις δεν εξαρτώνται από την διεύθυνση των σωματιδίων. Από αυτή τη συμμετρία προέρχεται η διατήρηση της στροφομής του συστήματος ως προς τον χρόνο. Και τέλος υπάρχει μία συμμετρία από την οποία προέρχεται η **διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου**.

Στο επίπεδο του νόμου της βαρύτητας του Νεύτωνα, αλλά και στο επίπεδο των ατόμων είναι γνωστή η συμμετρία ως προς τις **στροφές**. Η συμμετρία αυτή υποδηλώνει ότι η εξέλιξη με το χρόνο ενός απομονωμένου συστήματος δεν εξαρτάται από τον αρχικό του προσανατολισμό στο χώρο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απόλυτες κατευθύνσεις αλλά σχετικές.

Οι συμμετρίες της ομοτιμίας (P), συζυγίας φορτίου (C)

και αντιστροφής του χρόνου (T)