

Κεφάλαιο M8

Διατήρηση της ενέργειας

Ενέργεια – Επισκόπηση

Κινητική ενέργεια

- Συνδέεται με την κίνηση των στοιχείων ενός συστήματος.

Δυναμική ενέργεια

- Καθορίζεται από τη διάταξη του συστήματος.
- Μελετήσαμε επίσης τη βαρυτική και την ελαστική δυναμική ενέργεια.

Εσωτερική ενέργεια

- Σχετίζεται με τη θερμοκρασία του συστήματος.

Τύποι συστημάτων

Μη απομονωμένα συστήματα

- Η ενέργεια μπορεί να διασχίσει το όριο ενός συστήματος με διάφορους τρόπους.
- Η συνολική ενέργεια του συστήματος μεταβάλλεται.

Απομονωμένα συστήματα

- Η ενέργεια δεν διασχίζει το όριο του συστήματος.
- Η συνολική ενέργεια ενός συστήματος είναι σταθερή.

Διατήρηση της ενέργειας

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό την προϋπόθεση ότι στο εσωτερικό του συστήματος δεν δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις.
- Μπορεί να εφαρμοστεί σε έμβιους οργανισμούς, τεχνολογικά συστήματα, μηχανολογικά προβλήματα, κ.λπ.

Τρόποι μεταφοράς ενέργειας προς ή από ένα σύστημα

Στα μη απομονωμένα συστήματα, η ενέργεια διασχίζει το όριο του συστήματος σε κάποιο χρονικό διάστημα λόγω αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον.

Έργο – η ενέργεια μεταφέρεται με την εφαρμογή στο σύστημα μιας δύναμης η οποία προκαλεί μετατόπιση του σημείου δράσης της.

Μηχανικό κύμα – η ενέργεια μεταφέρεται με τη διάδοση μιας διαταραχής σε κάποιο μέσο.

Θερμότητα – η μεταφορά ενέργειας μέσω θερμότητας προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο περιοχών του χώρου.

Μεταφορά ύλης – φυσική ύλη διέρχεται μέσω του ορίου ενός συστήματος, μεταφέροντας μαζί της ενέργεια.

Ηλεκτρική μετάδοση – μεταφορά ενέργειας από ή προς ένα σύστημα μέσω ηλεκτρικού ρεύματος.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία – η ενέργεια μεταδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Τρόποι μεταφοράς ενέργειας – Παραδείγματα

Ενέργεια μεταφέρεται στον κύβο μέσω έργου.



α

Ενέργεια μεταφέρεται στο ρεζερβουάρ του αυτοκινήτου μέσω μεταφοράς ύλης.



δ

Ενέργεια εγκαταλείπει το ραδιόφωνο μέσω των μηχανικών κυμάτων που εκπέμπει το ηχείο.



β

Ενέργεια μεταφέρεται στο πιστολάκι για τα μαλλιά μέσω ηλεκτρισμού.



ε

Ενέργεια μεταφέρεται στη λαβή του κουταλιού μέσω θερμότητας.



γ

Ενέργεια εκλύεται από τη λάμπα μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



στ

Διατήρηση της ενέργειας

Η ενέργεια διατηρείται πάντοτε

- Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.
- Η συνολική ποσότητα ενέργειας ενός συστήματος μπορεί να μεταβληθεί μόνο με μεταφορά ενέργειας μέσω του ορίου του συστήματος με κάποιον μηχανισμό μεταφοράς.

Διατήρηση της ενέργειας (συνέχεια)

Μαθηματικά, $\Delta E_{\text{συστ.}} = \Sigma T$.

- Το $E_{\text{συστ.}}$ είναι η συνολική ενέργεια του συστήματος.
- Το T είναι η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται με κάποιον μηχανισμό μέσω του ορίου του συστήματος.
 - Καθιερωμένοι συμβολισμοί: $T_{\text{έργου}} = W$ και $T_{\text{θερμ.}} = Q$
 - Για τους υπόλοιπους μηχανισμούς χρησιμοποιούμε δείκτες.

Η βασική μαθηματική αναπαράσταση του μοντέλου ανάλυσης ενός μη απομονωμένου συστήματος συναρτήσει της ενέργειας δίνεται από την πλήρη μορφή της παραπάνω εξίσωσης.

- $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{εσωτ.}} = W + Q + T_{\text{MK}} + T_{\text{MY}} + T_{\text{HM}} + T_{\text{HA}}$
 - T_{MK} – μεταφορά μέσω μηχανικών κυμάτων
 - T_{MY} – μέσω μεταφοράς ύλης
 - T_{HM} – μέσω ηλεκτρικής μετάδοσης
 - T_{HA} – μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Απομονωμένο σύστημα

Για ένα απομονωμένο σύστημα, ισχύει $\Delta E_{\text{μηχ.}} = 0$.

- Θυμηθείτε ότι $E_{\text{μηχ.}} = K + U$
- Αυτή είναι η εξίσωση **διατήρησης της ενέργειας** για ένα απομονωμένο σύστημα στο οποίο δεν δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις.

Αν μέσα στο σύστημα δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις, κάποια ποσότητα ενέργειας μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια.

Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας γίνεται $\Delta E_{\text{συστ.}} = 0$.

- Στην ενέργεια $E_{\text{συστ.}}$ περιλαμβάνεται η κινητική, η δυναμική, και η εσωτερική ενέργεια του συστήματος.
- Αυτή είναι η πιο γενική μαθηματική αναπαράσταση του μοντέλου του απομονωμένου συστήματος.

Απομονωμένο σύστημα (συνέχεια)

Απαλείφοντας και αναδιατάσσοντας τις μεταβολές ενέργειας:

$$K_f + U_f = K_i + U_i$$

- Μην ξεχνάτε ότι αυτό ισχύει μόνο για συστήματα στα οποία δρουν συντηρητικές δυνάμεις.

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων – Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας για ένα απομονωμένο σύστημα στο οποίο δεν δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις

Μοντελοποίηση

- Σχηματίστε μια νοερή εικόνα στο μυαλό σας.
- Αντιληφθείτε τους τύπους της ενέργειας που μεταβάλλονται σε ένα σύστημα.

Κατηγοριοποίηση

- Ορίστε το σύστημά σας.
- Μπορεί να αποτελείται από περισσότερα από ένα σώματα και να περιλαμβάνει ελατήρια ή άλλους πιθανούς τρόπους αποθήκευσης δυναμικής ενέργειας.
- Προσδιορίστε αν συμβαίνουν μεταφορές ενέργειας μέσω του ορίου του συστήματος.
 - Αν ναι, χρησιμοποιήστε τη σχέση $\Delta E_{\text{συστ.}} = \sum T$.
 - Αν όχι, χρησιμοποιήστε τη σχέση $\Delta E_{\text{συστ.}} = 0$.
- Προσδιορίστε αν εντός του συστήματος δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις.
 - Αν όχι, χρησιμοποιήστε την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων (2)

Ανάλυση

- Επιλέξτε τις διατάξεις που αναπαριστούν τις αρχικές και τις τελικές συνθήκες του συστήματος.
- Για κάθε σώμα που αλλάζει ύψος, ορίστε τη μηδενική διάταξη της βαρυτικής δυναμικής ενέργειάς του.
- Για ένα σώμα που είναι συνδεδεμένο με ένα ελατήριο, η θέση αναφοράς που αντιστοιχεί στη διάταξη μηδενικής ελαστικής δυναμικής ενέργειας είναι η θέση ισορροπίας του σώματος.
- Αν δρουν περισσότερες από μία συντηρητικές δυνάμεις στο σύστημα, γράψτε μία σχέση δυναμικής ενέργειας για κάθε δύναμη.
- Γράψτε τις σχέσεις για τη συνολική αρχική μηχανική ενέργεια και τη συνολική τελική μηχανική ενέργεια.
- Εξισώστε τα δύο αθροίσματα.

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων (3)

Ολοκλήρωση

- Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας συμφωνούν με τη νοερή εικόνα που έχετε σχηματίσει στο μυαλό σας.
- Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας είναι λογικά και ότι συμφωνούν με τις πληροφορίες που δεχόμαστε από τις καθημερινές εμπειρίες μας.

Παράδειγμα – Ελεύθερη πτώση μπάλας

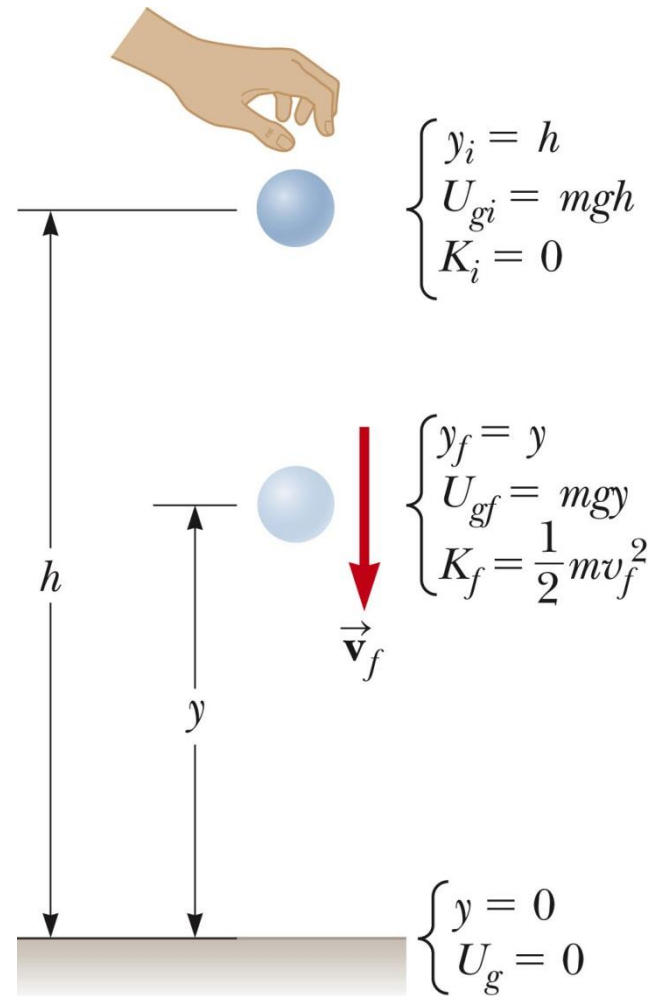
Προσδιορίστε το μέτρο της ταχύτητας της μπάλας σε ύψος y από το έδαφος.

Μοντελοποίηση

- Θα χρησιμοποιήσουμε την ενεργειακή μέθοδο αντί για κάποια μέθοδο που βασίζεται στην κίνηση.

Κατηγοριοποίηση

- Ορίζουμε την μπάλα και τη Γη ως σύστημα.
- Το σύστημα είναι απομονωμένο.
- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του απομονωμένου συστήματος.
- Η μόνη δύναμη είναι η δύναμη της βαρύτητας, η οποία είναι συντηρητική.



Παράδειγμα – Ελεύθερη πτώση μπάλας (συνέχεια)

Ανάλυση

- Εφαρμόζουμε την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

- $K_f + U_{gf} = K_i + U_{gi}$

- $K_i = 0$, όταν αφήνουμε την μπάλα

- Λύνουμε ως προς v_f

$$v_f = \sqrt{2g(h - y)}$$

Ολοκλήρωση

- Η εξίσωση για το μέτρο v_f της τελικής ταχύτητας συμφωνεί με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου του σωματιδίου με σταθερή επιτάχυνση σε ένα σώμα που εκτελεί ελεύθερη πτώση.

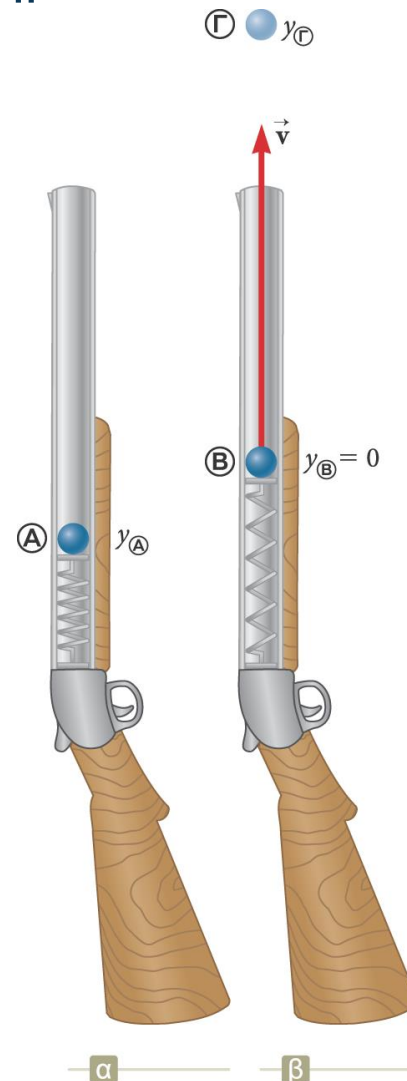
Παράδειγμα – Παιδικό τουφέκι με ελατήριο

Μοντελοποίηση

- Το βλήμα ξεκινάει από κατάσταση ηρεμίας.
- Επιταχύνει καθώς το ελατήριο το σπρώχνει προς τα πάνω.
- Όταν χάσει την επαφή του με το τουφέκι, επιβραδύνει λόγω της βαρύτητας.

Κατηγοριοποίηση

- Θεωρήστε το βλήμα, το ελατήριο, και τη Γη ως ένα σύστημα.
- Μοντελοποιήστε το σύστημα ως ένα απομονωμένο σύστημα στο οποίο δεν ασκούνται μη συντηρητικές δυνάμεις.



Παράδειγμα – Παιδικό τουφέκι με ελατήριο (συνέχεια)

Ανάλυση

- Το βλήμα ξεκινάει από κατάσταση ηρεμίας, οπότε $K_i = 0$.
- Επιλέξτε ως διάταξη μηδενικής βαρυτικής δυναμικής ενέργειας του συστήματος τη διάταξη που έχει κατά τη στιγμή που το βλήμα χάνει την επαφή του με το ελατήριο.
- Σε αυτή τη διάταξη, η ελαστική δυναμική ενέργεια είναι επίσης μηδενική.
- Στη συνέχεια, το βλήμα φτάνει στο μέγιστο ύψος, όπου η κινητική του ενέργεια είναι ίση με 0.

Ολοκλήρωση

- Είναι λογικό το αποτέλεσμα;
- Προσέξτε ότι χρησιμοποιήσατε δύο διαφορετικούς τύπους δυναμικής ενέργειας.

Παράδειγμα – Παιδικό τουφέκι με ελατήριο (τελική διαφάνεια)

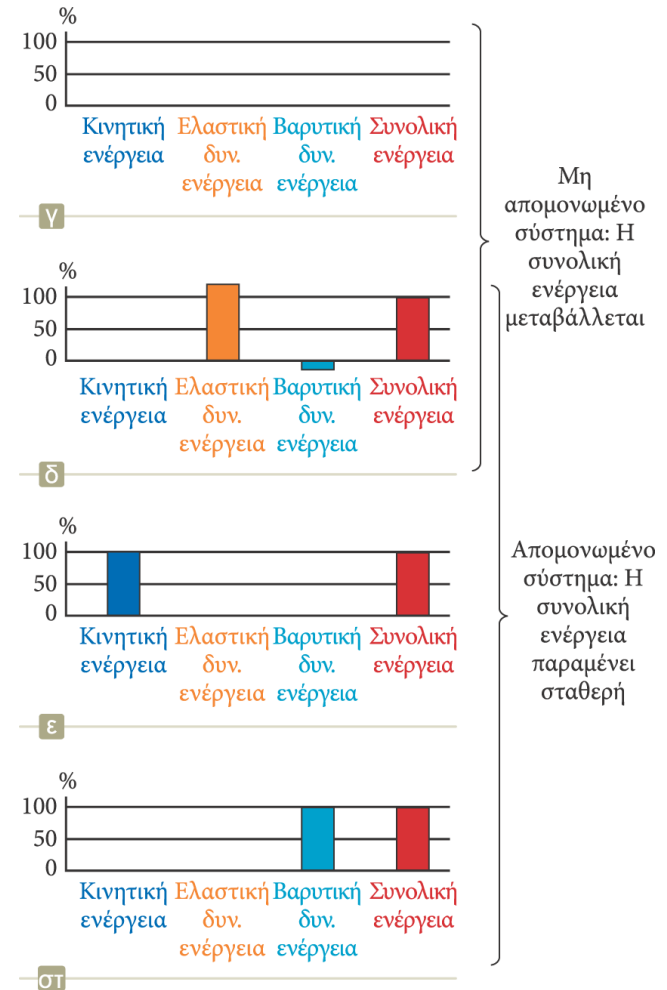
Αρχικά, η ενέργεια του συστήματος τουφεκιού-βλήματος-Γης είναι ίση με μηδέν.

Το παιδικό τουφέκι οπλίζεται μέσω ενός εξωτερικού παράγοντα ο οποίος παράγει έργο στο σύστημα για να ωθήσει το ελατήριο προς τα κάτω.

Όταν το παιδικό τουφέκι οπλίζεται, αποθηκεύεται ελαστική δυναμική ενέργεια στο ελατήριο, ενώ η βαρυτική δυναμική ενέργεια του συστήματος μειώνεται επειδή το βλήμα ωθείται κάτω από το σημείο με μηδενικό ύψος.

Όταν το βλήμα περνάει από το σημείο με μηδενικό ύψος, όλη η ενέργεια του συστήματος είναι κινητική.

Στο σημείο με το μέγιστο ύψος, όλη η ενέργεια έχει μετατραπεί σε δυναμική βαρυτική ενέργεια.



Τριβή ολίσθησης

Μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την τριβή ολίσθησης ως την αλληλεπίδραση μεταξύ όμοιων προεξοχών.

Η δύναμη τριβής διαμοιράζεται σε ολόκληρη την επιφάνεια επαφής.

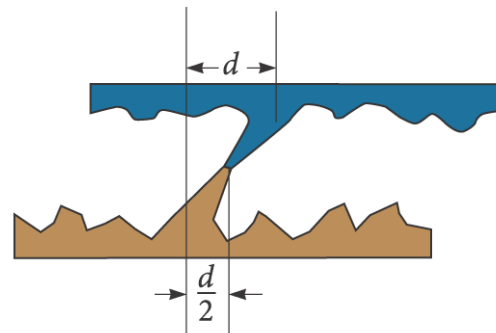
Η μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της δύναμης τριβής δεν μπορεί να υπολογιστεί.

Άρα, το έργο που παράγει η δύναμη τριβής δεν μπορεί να υπολογιστεί.

Θεωρούμε ότι η συνολική δύναμη τριβής ασκείται στη διεπιφάνεια ανάμεσα στις δύο ίδιες προεξοχές του βιβλίου και της επιφάνειας.



α



Το σημείο εφαρμογής της δύναμης τριβής μετατοπίζεται κατά $d/2$.

β

Θεώρημα έργου-κινητικής ενέργειας

Ισχύει για σώματα που μπορούν να μοντελοποιηθούν ως σωματίδια.

Όταν ασκείται μια δύναμη τριβής, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το έργο το οποίο παράγει η τριβή.

Παρότι το θεώρημα έργου-κινητικής ενέργειας δεν ισχύει, ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα εξακολουθεί να ισχύει.

Έργο και ενέργεια με τριβή

Γενικά, αν σε ένα σύστημα ασκείται μια δύναμη τριβής:

- $\Delta K = \Sigma W_{\text{άλλες δυνάμεις}} - f_k d$
- Η παραπάνω σχέση είναι μια τροποποιημένη μορφή του θεωρήματος έργου-κινητικής ενέργειας.
 - Χρησιμοποιούμε τη συγκεκριμένη σχέση όταν στο σώμα ασκείται τριβή.
- Αν η τριβή είναι μηδενική, η εξίσωση είναι ισοδύναμη με την εξίσωση διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

Η δύναμη τριβής η οποία ασκείται σε ένα σύστημα μετατρέπει την κινητική ενέργεια του συστήματος σε εσωτερική ενέργεια.

Η επακόλουθη αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος ισούται με τη μείωση της κινητικής του ενέργειας.

- $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = f_k d$

Γενικά, η εξίσωση αυτή μπορεί να γραφτεί ως $\Sigma W_{\text{άλλες δυνάμεις}} = W = \Delta K + \Delta E_{\text{εσωτ.}}$

Η σχέση αναπαριστά το μοντέλο του μη απομονωμένου συστήματος στο οποίο ασκείται μια μη συντηρητική δύναμη.

Παράδειγμα – Κύβος πάνω σε τραχιά επιφάνεια

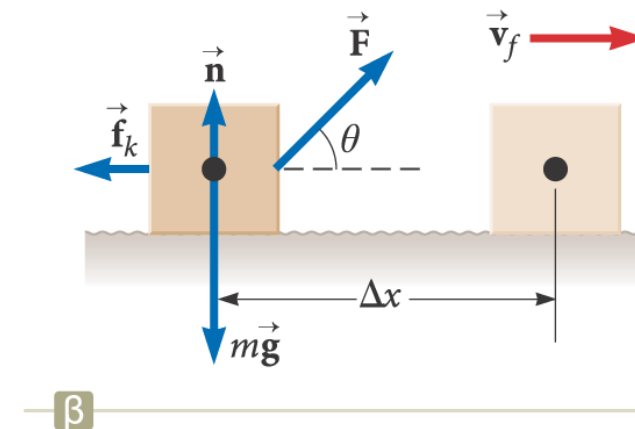
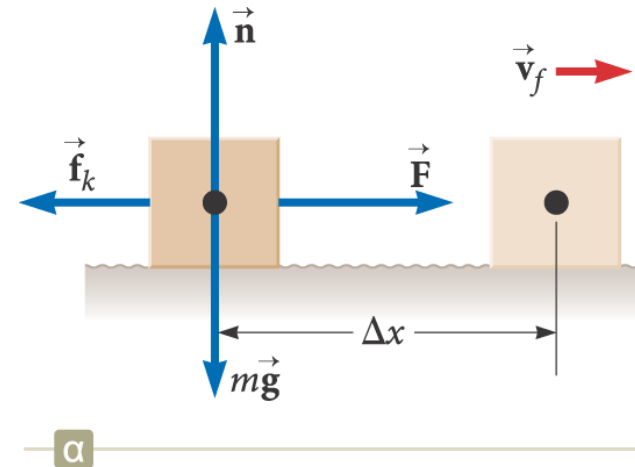
Ο κύβος κινείται πάνω σε μια τραχιά οριζόντια επιφάνεια υπό την επίδραση μιας σταθερής δύναμης.

Μοντελοποίηση

- Η τραχιά επιφάνεια ασκεί μια δύναμη τριβής στον κύβο.
- Η κατεύθυνση της δύναμης τριβής είναι αντίθετη από αυτή της ασκούμενης δύναμης.

Κατηγοριοποίηση

- Μοντελοποιούμε το σύστημα κύβου-επιφάνειας ως ένα μη απομονωμένο σύστημα στο οποίο ασκείται μια μη συντηρητική δύναμη.



Παράδειγμα – Κύβος πάνω σε μη λεία επιφάνεια (συνέχεια)

Ανάλυση

- Ούτε η κάθετη δύναμη ούτε η βαρυτική δύναμη παράγουν έργο στο σύστημα.
- Κατακόρυφη διεύθυνση – Εφαρμόστε το μοντέλο του σωματιδίου σε ισορροπία.
 - Βρείτε το μέτρο της δύναμης τριβής.
- Λύστε ως προς το μέτρο της τελικής ταχύτητας.

Ολοκλήρωση

- Η τιμή είναι μικρότερη από αυτή που βρήκαμε στην περίπτωση που δεν ασκείται τριβή.
- Η εσωτερική ενέργεια του συστήματος κύβου-επιφάνειας αυξήθηκε.

Παράδειγμα – Το σύστημα κύβου-ελατηρίου

Διατύπωση προβλήματος

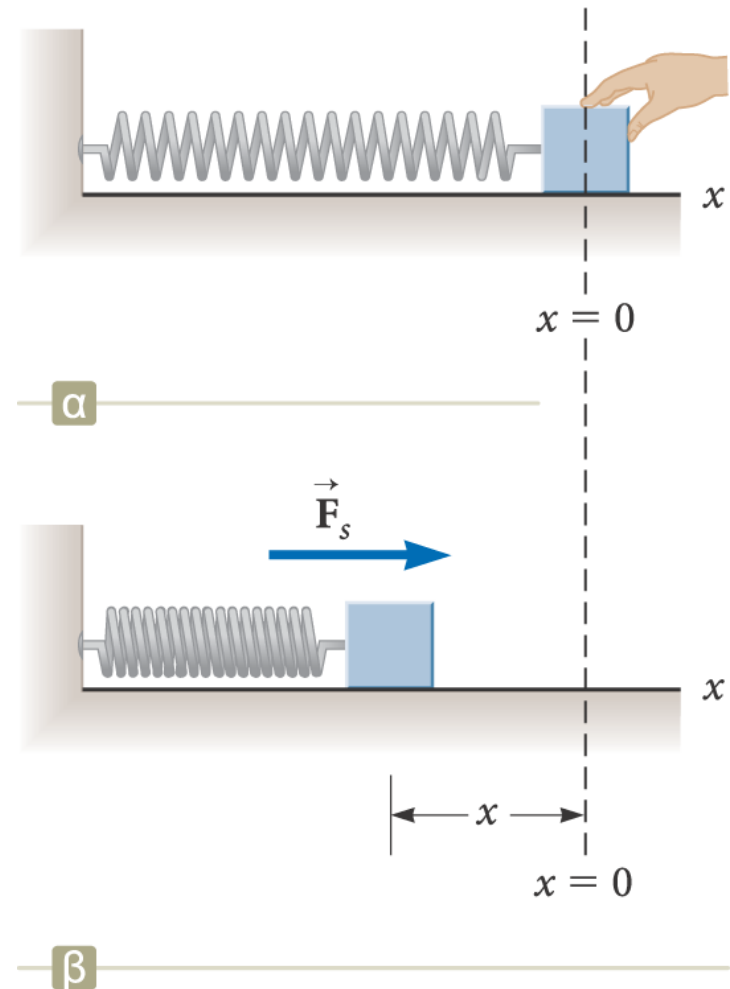
- Ο κύβος είναι στερεωμένος σε ένα ελατήριο, το οποίο συμπιέζεται. Στη συνέχεια, ο κύβος αφήνεται ελεύθερος.
- Στον κύβο ασκείται μια σταθερή δύναμη τριβής (ερώτημα Β του Παραδείγματος M8.6).

Μοντελοποίηση

- Μπορούμε να φανταστούμε το ελατήριο να ωθεί τον κύβο και να τον θέτει σε κίνηση με κάποια ταχύτητα.

Κατηγοριοποίηση

- Θεωρούμε τον κύβο και την επιφάνεια ως ένα σύστημα.
- Το σύστημα είναι μη απομονωμένο.
- Στο σύστημα δρα μια μη συντηρητική δύναμη (τριβή).



Παράδειγμα – Σύστημα κύβου-ελατηρίου (συνέχεια)

Ανάλυση

- $K_f = K_i - f_k d + W_s$
- $K_f = \frac{1}{2} m v_f^2$

Ολοκλήρωση

- Σκεφτείτε το αποτέλεσμα.
- Συγκρίνετέ το με το αποτέλεσμα στην περίπτωση που δεν ασκείται τριβή.

Προσθήκη των μεταβολών της δυναμικής ενέργειας

Αν μια δύναμη τριβής δρα μέσα σε ένα απομονωμένο σύστημα, τότε

$$\Delta E_{\text{μηχ.}} = \Delta K + \Delta U = -f_k d$$

- Το ΔU είναι η μεταβολή για όλες τις μορφές δυναμικής ενέργειας.

Αν το σύστημα στο οποίο δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις δεν είναι απομονωμένο και στο σύστημα παράγουν έργο εξωτερικοί παράγοντες, τότε

$$\Delta E_{\text{μηχ.}} = -f_k d + \Sigma W_{\text{άλλες δυνάμεις}}$$

Η εξίσωση αυτή αναπαριστά το μοντέλο ενός μη απομονωμένου συστήματος με δυναμική ενέργεια, στο οποίο ασκείται μια μη συντηρητική δύναμη. Μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως

$$\Sigma W_{\text{άλλες δυνάμεις}} = W = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{εσωτ.}}$$

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων με μη συντηρητικές δυνάμεις

Μοντελοποίηση

- Σχηματίστε μια νοερή εικόνα της κατάστασης.

Κατηγοριοποίηση

- Ορίστε το σύστημά σας.
 - Μπορεί να απαρτίζεται από περισσότερα από ένα σώματα.
- Προσδιορίστε αν υπάρχουν μη συντηρητικές δυνάμεις.
 - Αν δεν υπάρχουν, χρησιμοποιήστε την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.
- Προσδιορίστε αν υπάρχουν δυνάμεις εκτός της τριβής, οι οποίες παράγουν έργο μέσω του ορίου του συστήματός σας.

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων (συνέχεια)

Ανάλυση

- Επιλέξτε διατάξεις για τις αρχικές και τις τελικές συνθήκες του συστήματος.
- Ορίστε τη θέση αναφοράς για τη διάταξη μηδενικής δυναμικής ενέργειας.
 - Συμπεριλάβετε τις θέσεις που αντιστοιχούν στη βαρυτική δυναμική ενέργεια και στην ελαστική δυναμική ενέργεια του ελατηρίου.
- Αν υπάρχουν περισσότερες από μία συντηρητικές δυνάμεις, γράψτε μία σχέση με τη δυναμική ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε δύναμη.
- Αναπαραστήστε μαθηματικά το πρόβλημα.
- Λύστε ως προς την άγνωστη μεταβλητή.

Ολοκλήρωση

- Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας συμφωνούν με τη νοερή εικόνα που έχετε σχηματίσει.
- Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας είναι λογικά και ότι συμφωνούν με τις πληροφορίες που δεχόμαστε από τις καθημερινές μας εμπειρίες.

Παράδειγμα – Κιβώτιο που ολισθαίνει πάνω σε ράμπα

Πρόβλημα: Ένα κιβώτιο ολισθαίνει πάνω σε μια τραχιά ράμπα.

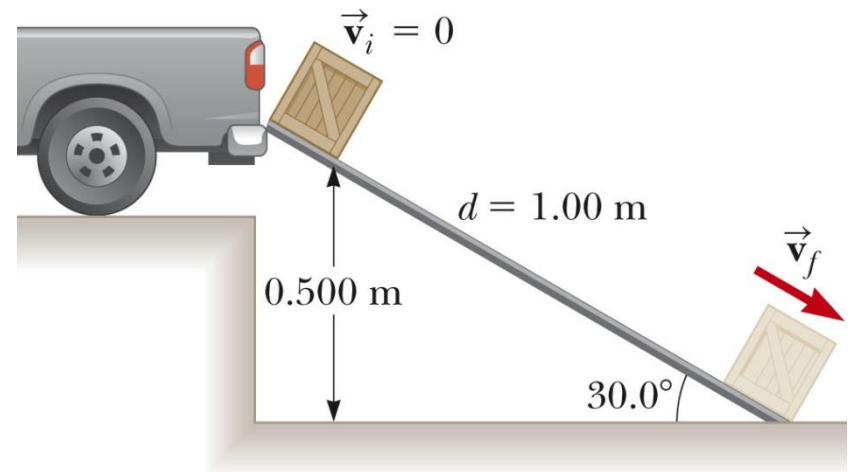
- Βρείτε το μέτρο της ταχύτητας στη βάση της ράμπας.

Μοντελοποίηση

- Μέθοδοι ενέργειας

Κατηγοριοποίηση

- Ορίστε το κιβώτιο, την επιφάνεια, και τη Γη ως σύστημα.
- Κατηγοριοποιήστε το σύστημα ως ένα απομονωμένο σύστημα στο οποίο δρα μια μη συντηρητική δύναμη.



Παράδειγμα – Κιβώτιο που ολισθαίνει πάνω σε ράμπα (συνέχεια)

Ανάλυση

- Έστω ότι η βάση της ράμπας αντιστοιχεί στη θέση $y = 0$.
- Στην κορυφή της ράμπας: $E_i = K_i + U_{gi} = 0 + mgy_i$
- Στη βάση της ράμπας: $E_f = K_f + U_{gf} = \frac{1}{2} mv_f^2 + mgy_f$
- Τότε, $\Delta E_{\mu\eta\chi.} = E_f - E_i = -f_k d$.
- Λύστε ως προς v_f .

Ολοκλήρωση

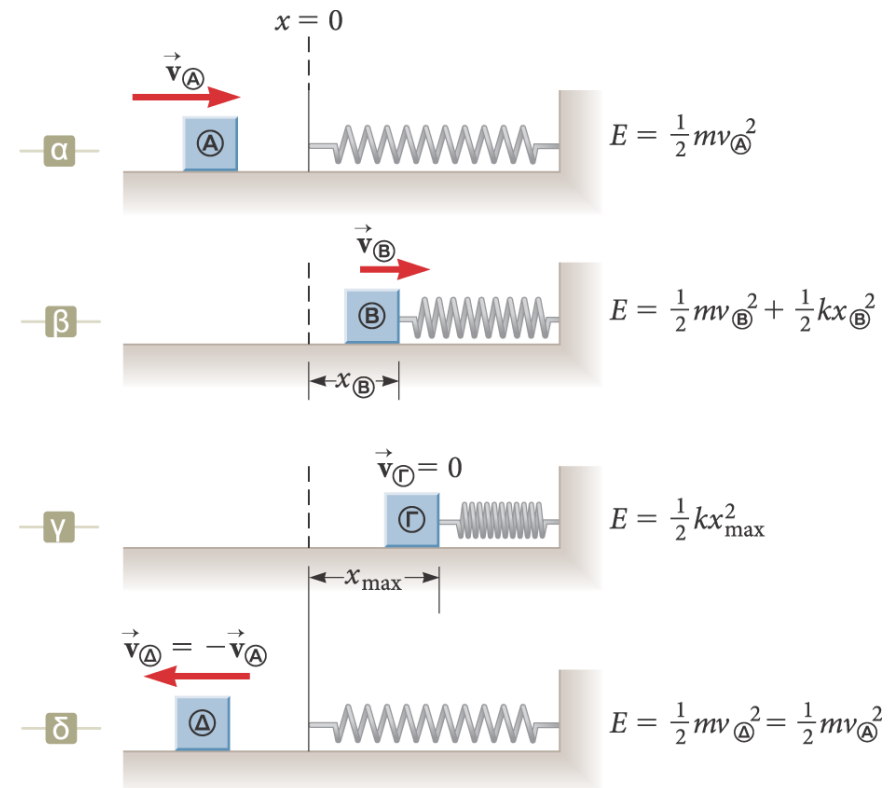
- Θα μπορούσατε να συγκρίνετε το αποτέλεσμα με αυτό που προκύπτει στην περίπτωση που η ράμπα δεν έχει τριβές.
- Η εσωτερική ενέργεια του συστήματος αυξήθηκε.

Παράδειγμα – Κρούση κύβου-ελατηρίου

Αν η επιφάνεια δεν έχει τριβές, η ενέργεια μετατρέπεται συνεχώς από κινητική σε ελαστική δυναμική και αντίστροφα, ενώ η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή.

Αν η επιφάνεια έχει τριβές, η ενέργεια μειώνεται.

$$\Delta E_{\mu\eta\chi.} = -f_k d$$



Παράδειγμα – Κρούση κύβου-ελατηρίου (2)

Μοντελοποίηση

- Η κίνηση πραγματοποιείται στο οριζόντιο επίπεδο.
 - Η βαρυτική δυναμική ενέργεια δεν μεταβάλλεται.

Κατηγοριοποίηση

- Ορίζουμε τον κύβο και το ελατήριο ως σύστημα.
- Αν η επιφάνεια δεν έχει τριβές, το σύστημα είναι απομονωμένο και σε αυτό δεν δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις.

Ανάλυση

- Πριν την κρούση, το σύστημα διαθέτει μόνο κινητική ενέργεια.
- Όταν το ελατήριο είναι τελείως συμπιεσμένο, το σύστημα δεν διαθέτει κινητική ενέργεια αλλά μόνο ελαστική δυναμική.
- Η συνολική μηχανική ενέργεια διατηρείται.

Παράδειγμα – Κρούση κύβου-ελατηρίου (3)

Ολοκλήρωση

- Αποφασίστε ποια ρίζα έχει φυσική σημασία.

Στη συνέχεια, υποθέστε ότι η επιφάνεια έχει τριβές.

- Κατηγοριοποίηση
 - Το σύστημα είναι απομονωμένο αλλά περιλαμβάνει μια μη συντηρητική δύναμη.
- Ανάλυση
 - Χρησιμοποιήστε τη σχέση $\Delta E_{\mu\eta\chi.} = -f_k d$.
 - Λύστε ως προς x .
- Ολοκλήρωση
 - Η τιμή είναι μικρότερη από την περίπτωση στην οποία δεν υπάρχουν τριβές.
 - Αυτό ήταν αναμενόμενο.

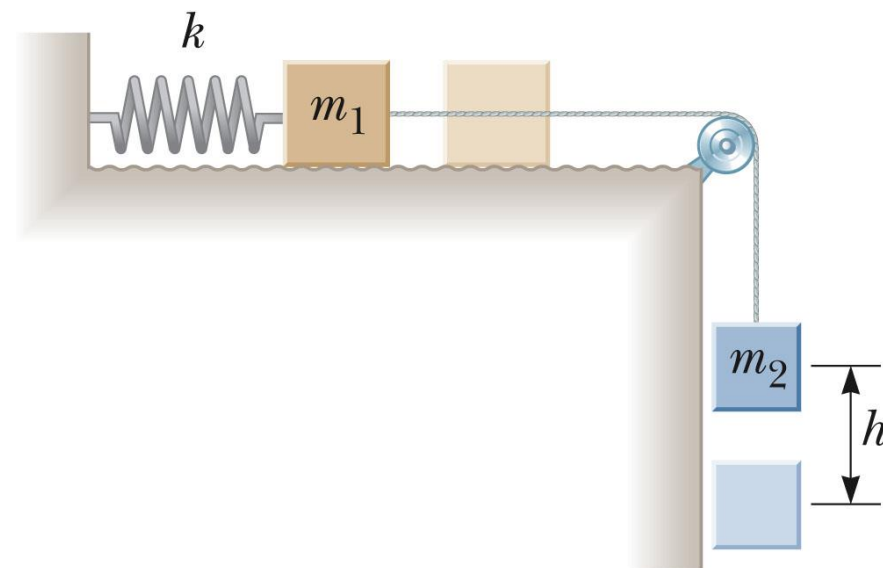
Παράδειγμα – Συνδεδεμένοι κύβοι σε κίνηση

Μοντελοποίηση

- Οι διατάξεις του συστήματος που σχετίζονται με ακινησία είναι καλοί υποψήφιοι για την αρχική και την τελική διάταξη του συστήματος.

Κατηγοριοποίηση

- Το σύστημα αποτελείται από τους δύο κύβους, το ελατήριο, την επιφάνεια, και τη Γη.
- Το σύστημα είναι απομονωμένο και περιλαμβάνει μια μη συντηρητική δύναμη.
- Στην κατακόρυφη διεύθυνση, μοντελοποιούμε τον κύβο που ολισθαίνει ως σωματίδιο σε ισορροπία.



Παράδειγμα – Συνδεδεμένοι κύβοι σε κίνηση (συνέχεια)

Ανάλυση

- Πρέπει να λάβουμε υπόψη τη βαρυτική και την ελαστική δυναμική ενέργεια.
 - Η μεταβολή της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας του συστήματος σχετίζεται μόνο με τον κύβο που πέφτει.
- Αν η αρχική και η τελική διάταξη του συστήματος αντιστοιχούν σε ακινησία, οι αντίστοιχες κινητικές ενέργειες είναι μηδενικές.
- Η ελαστική δυναμική ενέργεια του ελατηρίου μεταβάλλεται.
- Ο συντελεστής τριβής ολίσθησης μπορεί να μετρηθεί.

Ολοκλήρωση

- Η πειραματική διάταξη αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του συντελεστή τριβής ολίσθησης.
- Μην ξεχνάτε ότι μπορείτε να ξεκινάτε πάντα από την Εξίσωση M8.2 και να απαλείψετε ή να αναπτύσσετε όρους ανάλογα με την περίπτωση.

Ιστογράμματα ενέργειας για το παράδειγμα των συνδεδεμένων κύβων

Αρχικά (α) κανένα στοιχείο του συστήματος δεν κινείται, άρα η κινητική ενέργεια είναι μηδενική.

Το σύστημα διαθέτει μόνο δυναμική ενέργεια.

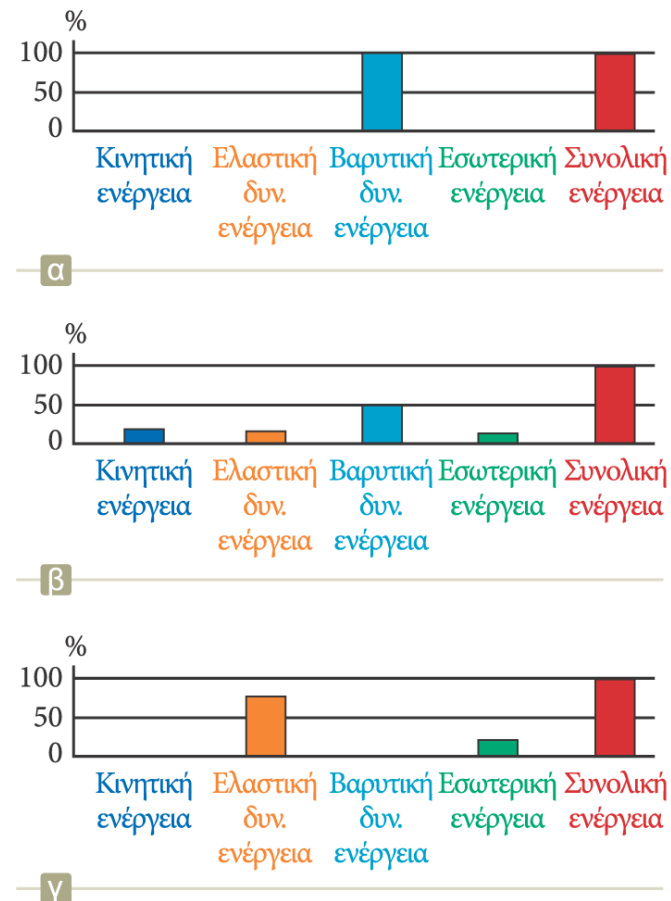
Στο (β), το σύστημα διαθέτει τέσσερα είδη ενέργειας.

Το σύστημα έχει αποκτήσει κινητική ενέργεια, ελαστική δυναμική ενέργεια, και εσωτερική ενέργεια.

Στο (γ), η βαρυτική δυναμική ενέργεια και η κινητική ενέργεια είναι μηδενικές.

Η έκταση του ελατηρίου έχει πάρει μέγιστη τιμή.

Η εσωτερική ενέργεια έχει αυξηθεί επειδή ο ένας κύβος συνεχίζει να ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια.



Απομονωμένο σύστημα: Η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή

Ισχύς

Η ισχύς είναι ο ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας.

Η **στιγμιαία ισχύς** ορίζεται ως

$$P \equiv \frac{dE}{dt}$$

Αν θεωρήσουμε ότι η ενέργεια μεταφέρεται μέσω του έργου, η εξίσωση μπορεί να γραφτεί ως

$$P_{\text{μέση}} = \frac{W}{\Delta t}$$

Στιγμιαία και μέση ισχύς

Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται ως το όριο της μέσης ισχύος καθώς το Δt τείνει στο μηδέν.

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} = \vec{\mathbf{F}} \cdot \frac{d\vec{\mathbf{r}}}{dt} = \vec{\mathbf{F}} \cdot \vec{\mathbf{v}}$$

Η εξίσωση για την ισχύ μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε από τους τρόπους μεταφοράς ενέργειας που εξετάσαμε στην Ενότητα M8.1.

Μονάδες ισχύος

Η μονάδα SI της ισχύος ονομάζεται watt.

- $1 \text{ watt} = 1 \text{ joule} / \text{second} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$

Η μονάδα της ισχύος στο Παραδοσιακό Σύστημα των Η.Π.Α. είναι ο ίππος.

- $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$

Μπορούμε επίσης να ορίσουμε τη μονάδα του έργου ή της ενέργειας συναρτήσει της μονάδας της ισχύος.

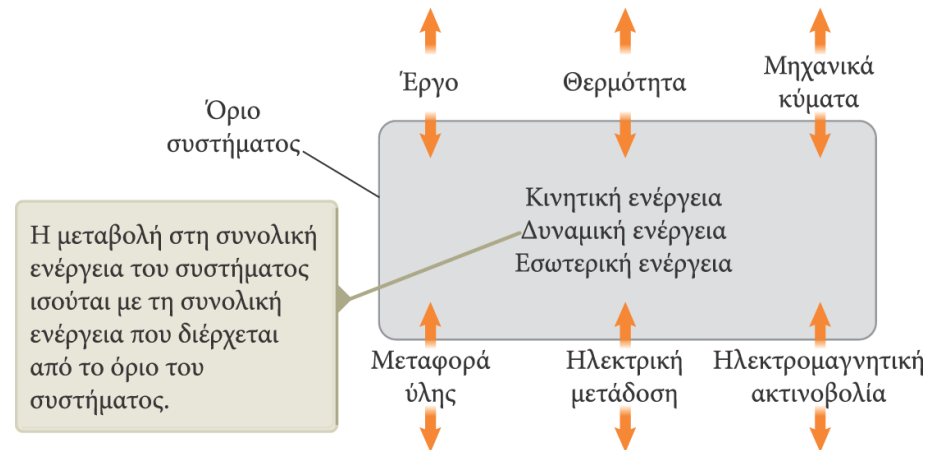
- $1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W})(3600 \text{ s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων – Μη απομονωμένο σύστημα

Η πιο γενική σχέση που περιγράφει τη συμπεριφορά ενός μη απομονωμένου συστήματος είναι η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας.

$$\Delta E_{\text{συστ.}} = \Sigma T$$

Μπορούμε να αναπτύξουμε ή να απαλείψουμε όρους της εξίσωσης κατά περίπτωση.



Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων – Απομονωμένο σύστημα

Η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος διατηρείται.

$$\Delta E_{\text{συστ.}} = 0$$

Αν μέσα στο απομονωμένο σύστημα δεν δρουν μη συντηρητικές δυνάμεις, τότε η μηχανική ενέργεια του συστήματος διατηρείται.

$$\Delta E_{\text{μηχ.}} = 0$$

Όριο
συστήματος

Κινητική ενέργεια
Δυναμική ενέργεια
Εσωτερική ενέργεια

Η συνολική ενέργεια του συστήματος είναι σταθερή. Οι μετατροπές ενέργειας γίνονται μεταξύ των τριών δυνατών τύπων ενέργειας.