

Η Αρχή της Διατήρησης της Ορμής  
Ο 3<sup>ος</sup> Νόμος του Νεύτωνα .  
Η θεωρία του Arrhenius στις Χημικές Αντιδράσεις.

Δυο λόγια για την ιδέα της εργασίας

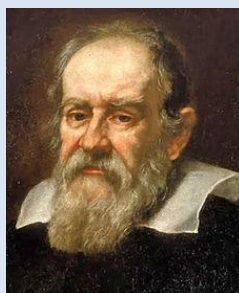
Η Αρχή της Διατήρησης της γραμμικής Ορμής (Α.Δ.Ο) είναι ένας από τους πιο βασικούς Νόμους της Φύσης. Ισχύει από τα έσχατα συστατικά της ύλης μέχρι τα όρια του Σύμπαντος. Μαζί με την Αρχή της Διατήρησης της Στροφορμής 'ευθύνονται' σε ένα μεγάλο βαθμό για την μορφή αλλά και για το περιεχόμενο του Σύμπαντος.

Η Α.Δ.Ο όπως συνηθίζουμε να την λέμε μπορεί να προκύψει με τρεις τρόπους.

α. Από τον 3<sup>ο</sup> Νόμο του Νεύτωνα ή την Αρχή της Δράσης και Αντίδρασης.



β. Από την Διατήρηση της Ενέργειας και της Μάζας  
και την εφαρμογή τους στους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου.



γ. Από την Αρχή της Ομογένειας του Χώρου.

Η εργασία αυτή βασίζεται σε τρεις σκέψεις.

Στην βιβλιογραφία αλλά και στην διδακτική μας πρακτική ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να δείξουμε ότι η ορμή ενός μονωμένου συστήματος ( $\Sigma F_{εξ} = 0$ ) διατηρείται είναι η **αξιωματική αποδοχή** του **3<sup>ου</sup> Νόμου του Νεύτωνα**.

Το ερώτημα όμως που προκύπτει είναι:

Πόσο ισχυρή είναι αυτή η επιλογή αφού ως γνωστό από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα η έννοια της **δύναμης** προκαλεί ...“ **κραδασμούς**” στο οικοδόμημα της Κλασικής Μηχανικής ;

Ο Νεύτωνας στο έργο του Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας έδωσε “**κεντρικό - πρωταγωνιστικό ρόλο**” στην έννοια της δύναμης.

Ένα αιώνα αργότερα έγινε προσπάθεια να αναδιατυπωθεί με μαθηματική αυστηρότητα το Ορθολογικό υπόβαθρο της Κλασικής Μηχανικής.

**Τότε άρχισαν να εμφανίζονται μια σειρά από εννοιολογικές δυσχέρειες που τις δημιουργούσε κυρίως η έννοια της δύναμης.**

Στον 20ο αιώνα η αμφισβήτηση της **έννοιας της δύναμης** έγινε ακόμα εντονότερη. Οι θεωρητικές και πειραματικές εξελίξεις έδειξαν ότι υπάρχουν σοβαροί λόγοι για αναθεώρησης της Ορθολογικής βάσης της Κλασικής Μηχανικής.

Έχει τεθεί καθαρά το ζήτημα αντικατάστασης

**3<sup>ου</sup> Νόμου του Νεύτωνα** από την **Αρχή Διατήρησης της Ορμής**

στην αξιωματική θεμελίωση της Κλασικής Μηχανικής.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της **Αρχής της Διατήρησης της Ορμής** είναι ότι εξακολουθεί να ισχύει ...όπου δεν ισχύουν οι **Νόμοι του Νεύτωνα**.

Δηλαδή στην **Σχετικότητα** και στην **Κβαντομηχανική**.

Επιπλέον συνδέεται άμεσα με την **Ομογένεια του Χώρου**.

**Αυτό είναι όμως θέμα μιας άλλης εργασίας.**

## 2<sup>η</sup> Σκέψη

Να δοθεί μια πρόταση- απόδειξη της Αρχής της Διατήρησης της Ορμής (Α.Δ.Ο) που να μην στηρίζεται στην αξιωματική αποδοχή του 3<sup>ου</sup> Νόμου του Νεύτωνα .

## 3<sup>η</sup> Σκέψη

Να δείξουμε ότι ισχύει η (Α.Δ.Ο) σε ένα πιο περίπλοκο σύστημα όπου ενώ συμβαίνει **ανταλλαγή μάζας μεταξύ των σωμάτων ...η συνολική μάζα αλλά και η ενέργεια του συστήματος να διατηρείται.**

Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να είναι **τα μόρια τα άτομα ή τα ιόντα** που παίρνουν μέρος σε... **μια Χημική Αντίδραση**.

**Απόδειξη της Αρχής της Διατήρησης της Ορμής στις κρούσεις  
χωρίς... την χρήση του 3<sup>ου</sup> Νόμου του Νεύτωνα.**

Η θεωρία των αποτελεσματικών κρούσεων στις χημικές αντιδράσεις είναι μια καλή ιδέα. Στις χημικές αντιδράσεις συμβαίνει 'κάτι' ιδιαίτερο. Η ανακατανομή της μάζας.

Μια σύντομη αναφορά στην θεωρία των κρούσεων στις χημικές αντιδράσεις.

Ο Arrhenius το 1889 πρότεινε μια θεωρία για την ερμηνεία της πραγματοποίησης των χημικών αντιδράσεων.



Svante August Arrhenius

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή για να αντιδράσουν δύο μόρια πρέπει να συγκρουστούν με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να δώσουν αποτελέσματα.

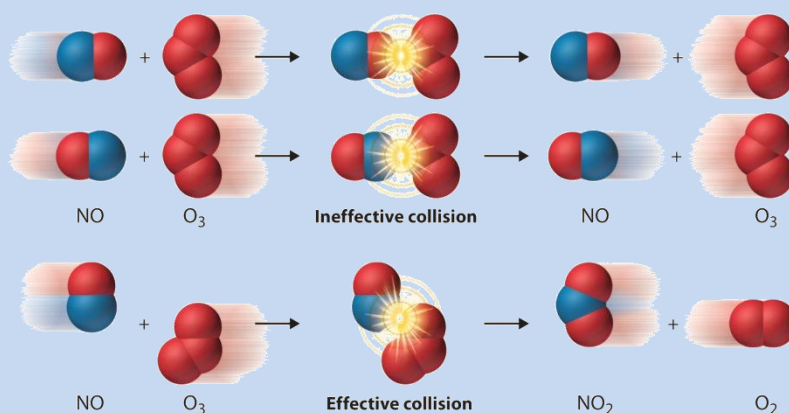
Να συγκρουστούν αποτελεσματικά.

Για να γίνει αυτό χρειάζεται να έχουν:

α. Την κατάλληλη ταχύτητα .

β. Τον σωστό προσανατολισμό.

Αποτέλεσμα αυτής της κρούσης είναι να **'σπάσουν'** οι αρχικοί δεσμοί των **'αντιδρώντων'** μορίων και να δημιουργηθούν οι νέοι δεσμοί των **'προϊόντων'** μορίων. Η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να έχουν τα μόρια, ώστε να συγκρουστούν αποτελεσματικά λέγεται ενέργεια ενεργοποίησης.

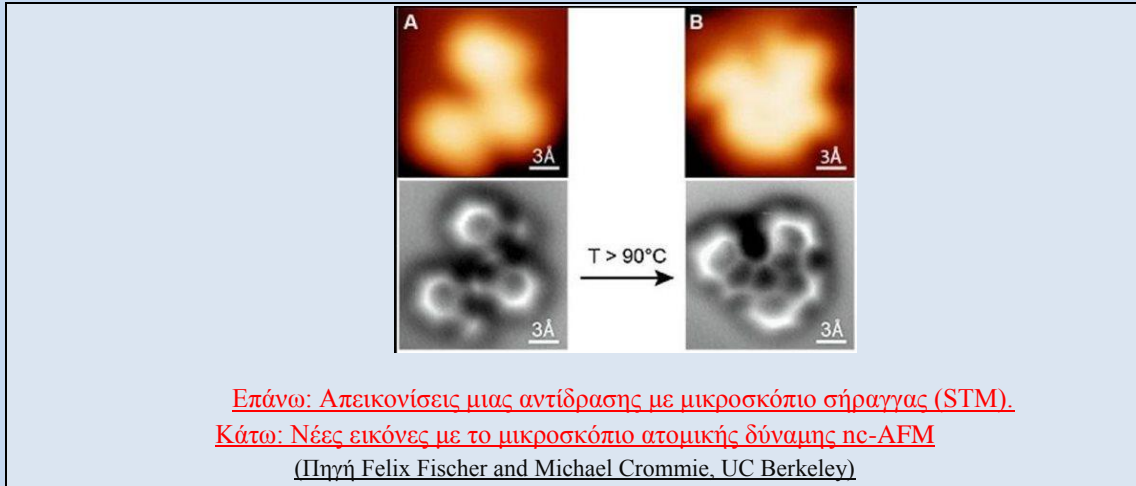


Μέσα σε ένα κλειστό χώρο τοποθετούμε δύο αέρια. Μεταξύ των μορίων τους δημιουργείται ένας απίστευτα μεγάλος αριθμός κρούσεων.

Απ' αυτές έχει υπολογιστεί ότι μόνο  $1/10^8$  είναι αποτελεσματικές .

Δηλαδή δημιουργούν χημικές αντιδράσεις.

Με βάση την θεωρία αυτή θα προσπαθήσω να μελετήσω την χημική αντίδραση σαν το αποτέλεσμα μιας αποτελεσματικής κρούσης.



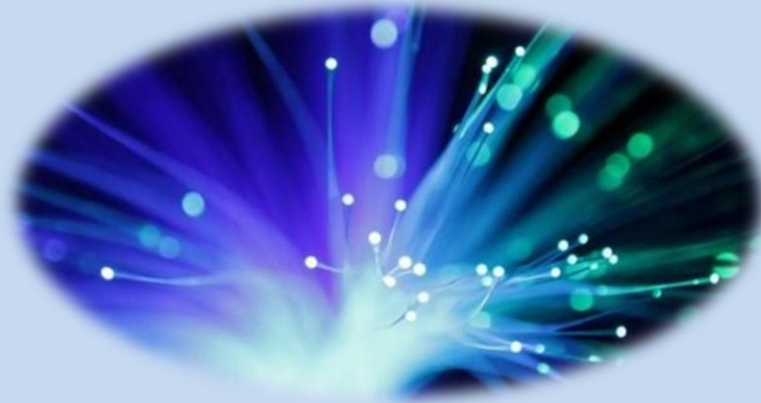
Επάνω: Απεικονίσεις μιας αντίδρασης με μικροσκόπιο σήραγγας (STM).

Κάτω: Νέες εικόνες με το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης nc-AFM

(Πηγή Felix Fischer and Michael Crommie, UC Berkeley)

### Δύο σημαντικές επισημάνσεις

- α. Συνήθως οι κρούσεις μεταξύ των ατόμων συνοδεύονται με εκπομπή ακτινοβολίας. Έτσι στην συνολική ορμή των προϊόντων μιας κρούσης συμμετέχει και η ορμή της ακτινοβολίας. Παρακάτω δεν θα συμπεριλάβουμε τις κρούσεις που κατά την διάρκεια τους παράγεται φως ή ήχος. Έτσι δεν θα συμμετέχουν και οι αντίστοιχες ορμές των ακτινοβολιών.



- β. Κατά την διάρκεια της κρούσης δεχόμαστε ότι ισχύει η Διατήρηση της Μάζας και της Ενέργειας ως προς οποιοδήποτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Η γνωστή αρχή του Γαλιλαίου για το αναλλοίωτο.

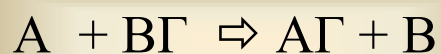
Θα δείξουμε με την βοήθεια της χημικής αντίδρασης μια πολύ σημαντική πρόταση.

Για να ισχύουν η Διατήρηση της Μάζας και της Ενέργειας ως προς οποιοδήποτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς πρέπει απαραίτητα να ισχύει και η Αρχή της Διατήρησης της Ορμής.

### Η κρούση στην ...χημική αντίδραση

Η παρακάτω χημική εξίσωση περιγράφει μια αποτελεσματική κρούση του ατόμου (A) με το μόριο (BΓ).

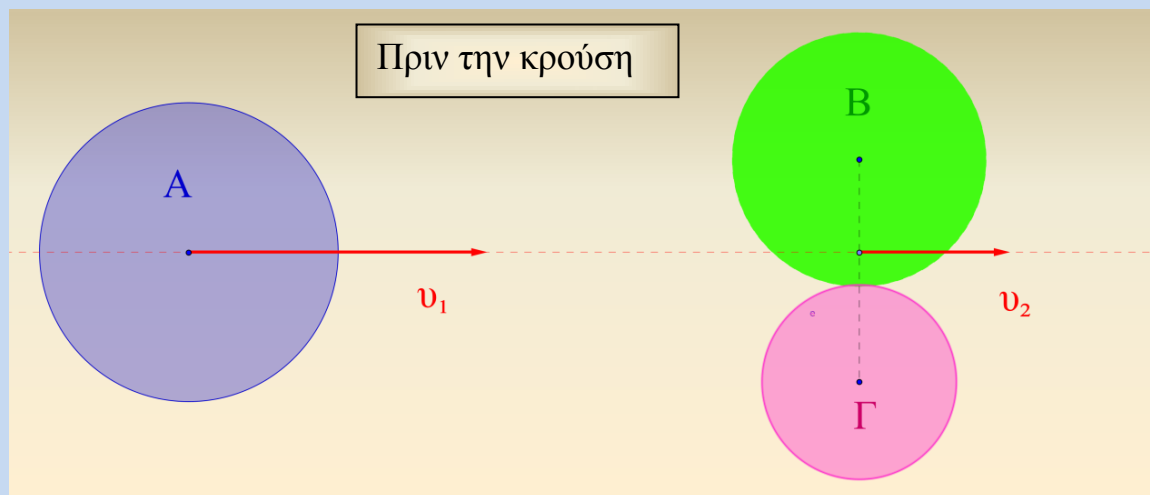
Δημιουργείτε το μόριο (AΓ) και ταυτόχρονα εκπέμπεται το άτομο (B).



### Ζήτημα 1<sup>ο</sup>

Να γράψετε την Αρχή της Διατήρησης της Ενέργειας και της Ορμής για την χημική αντίδραση στο αδρανειακό σύστημα αναφοράς ( S ) με την προϋπόθεση ότι η μάζα του συστήματος διατηρείται .

### Απάντηση



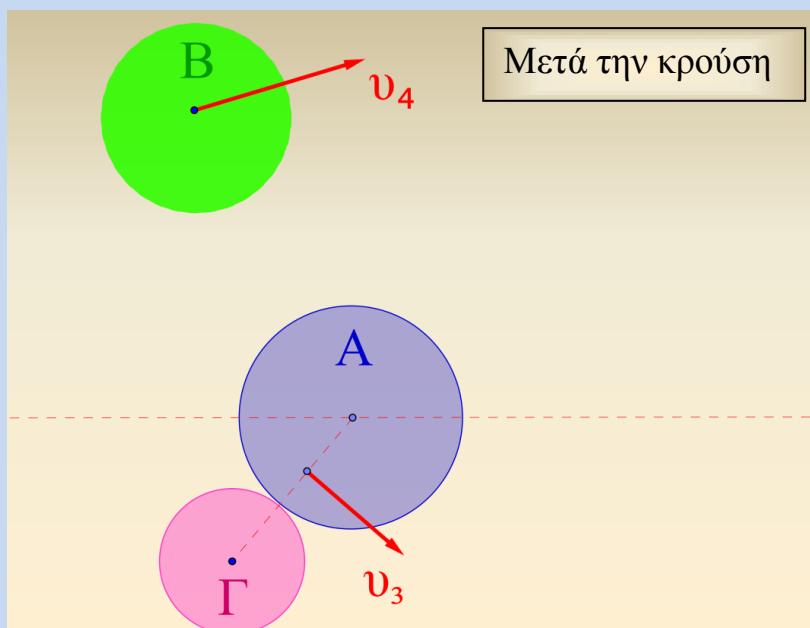
Ενέργεια αντιδρώντων: A + BΓ

$$E_{αρχ} = \frac{1}{2} m_A v_1^2 + \frac{1}{2} (m_B + m_\Gamma) v_2^2$$

Ορμή αντιδρώντων: A + BΓ

$$P_{αρχ} = m_A v_1 + (m_B + m_\Gamma) v_2$$

Σχόλιο : Οι συμβολισμοί των μεγεθών με έντονο χαρακτήρα εκφράζουν διανύσματα.



Ενέργεια προϊόντων: ΑΓ + Β

$$E_{\text{τελ}} = \frac{1}{2} m_B v_4^2 + \frac{1}{2} (m_A + m_\Gamma) v_3^2 + \Delta E$$

Ορμή προϊόντων: ΑΓ + Β

$$P_{\text{τελ}} = m_B v_4 + (m_A + m_\Gamma) v_3$$

Τι εκφράζει όμως ο όρος ΔΕ;

Στην περίπτωση των χημικών αντιδράσεων ο όρος ΔΕ εκφράζει τις μεταβολές των ενεργειών των ενδομοριακών δεσμών των μορίων που συμμετέχουν.

Συνήθως χαρακτηρίζεται σαν μεταβολή της ενθαλπίας ΔΗ.

Μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές ( $\Delta H \geq 0$  ή  $\Delta H \leq 0$ ).

Έτσι διακρίνουμε τις χημικές αντιδρασεις σαν ενδόθερμες η εξώθερμες.

Η Αρχή της Διατήρησης της Ενέργειας για την χημική αντίδραση

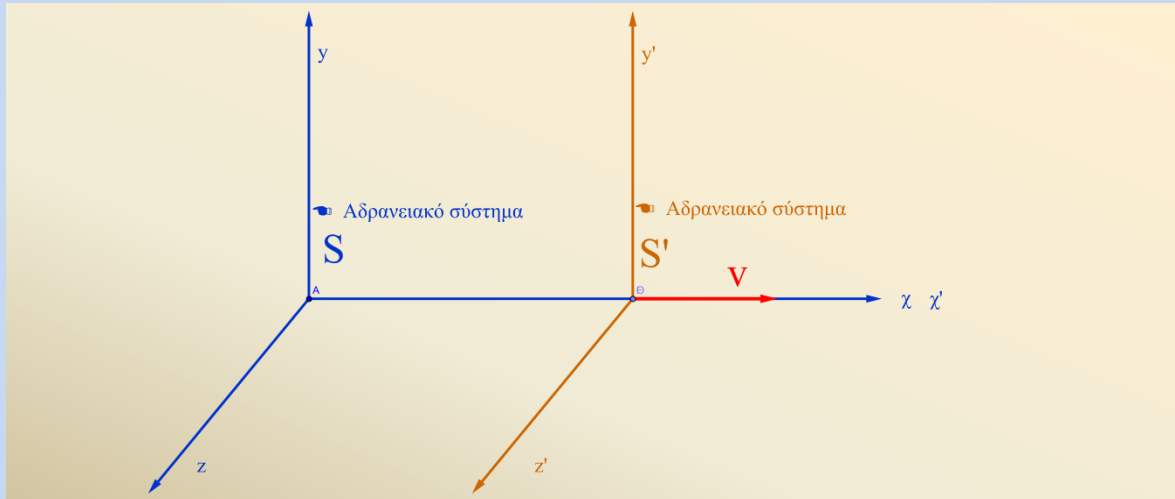
$$\frac{1}{2} m_A v_1^2 + \frac{1}{2} (m_B + m_\Gamma) v_2^2 = \frac{1}{2} m_B v_4^2 + \frac{1}{2} (m_A + m_\Gamma) v_3^2 + \Delta E$$

Η Αρχή της Διατήρησης της Ορμής για την χημική αντίδραση

$$m_A v_1 + (m_B + m_\Gamma) v_2 = m_B v_4 + (m_A + m_\Gamma) v_3$$

## Ζήτημα 2<sup>ο</sup>

Να γράψετε την Αρχή της Διατήρησης της Ενέργειας για την χημική αντίδραση σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς ( $S'$ ) που κινείται ευθύγραμμα και ομαλά με ταχύτητα ( $v$ ) ως προς το ( $S$ ). Η μάζα διατηρείται.



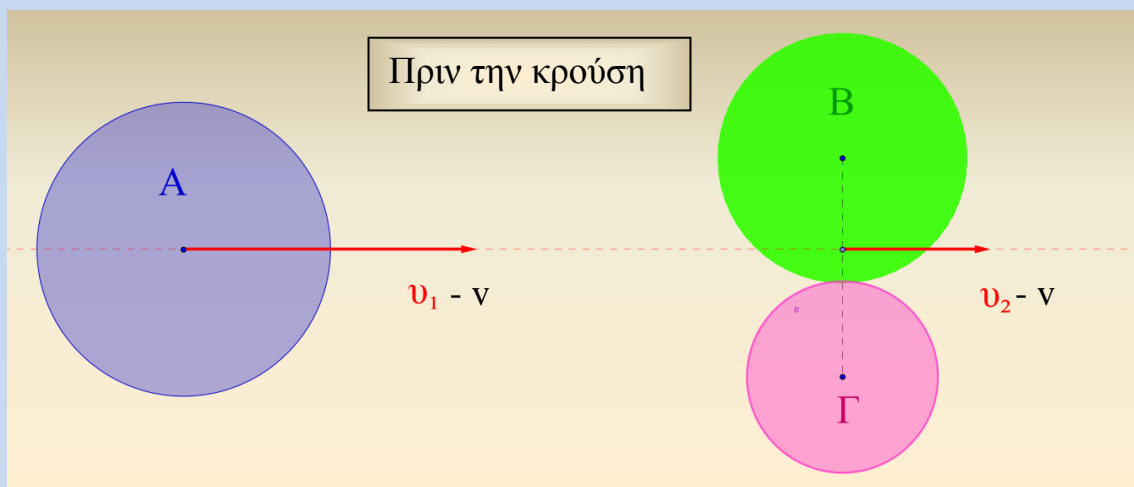
## Απάντηση

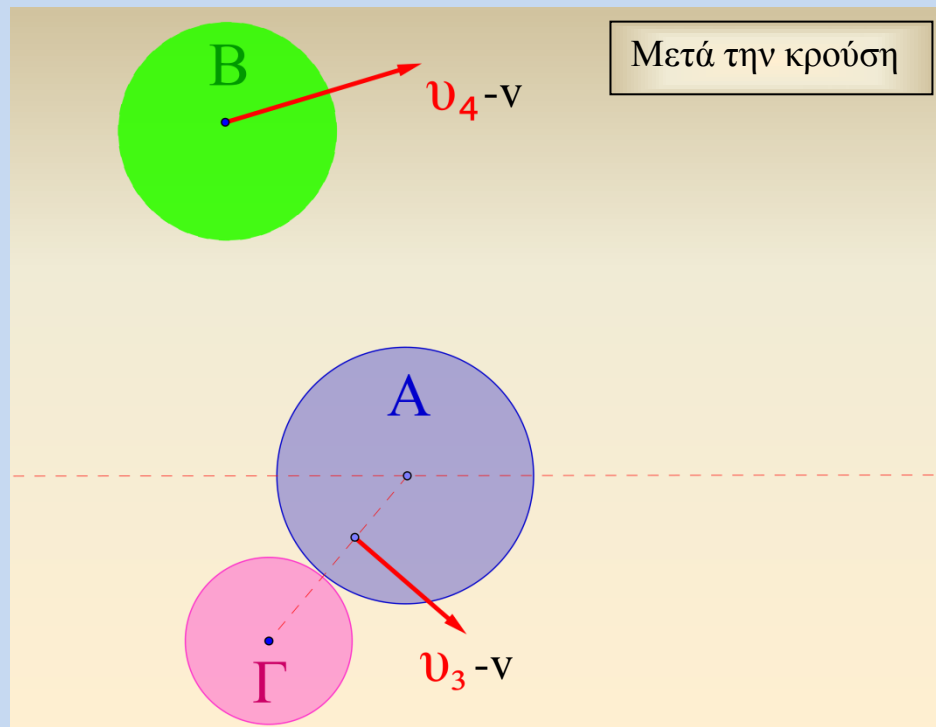
Αν ( $v$ ) η ταχύτητα του αδρανειακού συστήματος αναφοράς ( $S'$ ) ως προς το ( $S$ ) τότε οι ταχύτητες των αντιδρώντων και των προϊόντων ως προς το ( $S'$ ) θα είναι :

$$(v_1 - v), (v_2 - v), (v_3 - v), (v_4 - v).$$

Ενέργεια αντιδρώντων: A + BΓ

$$E_{αρχ} = \frac{1}{2} m_A |v_1 - v|^2 + \frac{1}{2} (m_B + m_\Gamma) |v_2 - v|^2$$





Ενέργεια προϊόντων: ΑΓ + Β

$$E_{τελ} = \frac{1}{2} m_B |\mathbf{v}_4 - \mathbf{V}|^2 + \frac{1}{2} (m_A + m_\Gamma) |\mathbf{v}_3 - \mathbf{V}|^2 + \Delta E$$

Άρα η διατήρηση της ενέργειας για το σύστημα ( S' ) θα είναι:

$$\frac{1}{2} m_A |\mathbf{v}_1 - \mathbf{V}|^2 + \frac{1}{2} (m_B + m_\Gamma) |\mathbf{v}_2 - \mathbf{V}|^2 =$$

$$\frac{1}{2} m_B |\mathbf{v}_4 - \mathbf{V}|^2 + \frac{1}{2} (m_A + m_\Gamma) |\mathbf{v}_3 - \mathbf{V}|^2 + \Delta E$$

Ο όρος  $\Delta E$  εκφράζει τις μεταβολές των ενεργειών των δεσμών των μορίων που συμμετέχουν. Πειραματικά αποδεικνύεται ότι η  $\Delta E$  είναι ίδια για το ( S ) και ( S' )

### Ζήτημα 3<sup>0</sup>

Γνωρίζουμε ότι σε μια χημική αντίδραση τα άτομα των στοιχείων που αντιδρούν μπορούν να ανακατατάσσονται ή να ανταλλάσσονται.

Να δείξουμε ότι αν ισχύουν :

α. Η διατήρηση της μάζας

β. Η διατήρηση της ενέργειας

τότε ισχύει και η Αρχή της Διατήρησης της Ορμής (Α.Δ.Ο).

### Απάντηση

Παραπάνω δείξαμε ότι αν ισχύει η διατήρηση της μάζας τότε η διατήρηση της ενέργειας είναι:



### Στο σύστημα (S)

$$\frac{1}{2}m_A v_1^2 + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)v_2^2 = \frac{1}{2}m_B v_4^2 + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)v_3^2 + \Delta E \quad (1)$$

### Στο σύστημα (S')

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}m_A |\mathbf{v}_1 - \mathbf{V}|^2 + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)|\mathbf{v}_2 - \mathbf{V}|^2 = \\ \frac{1}{2}m_B |\mathbf{v}_4 - \mathbf{V}|^2 + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)|\mathbf{v}_3 - \mathbf{V}|^2 + \Delta E \end{aligned}$$

Θέλω να δείξω την Α.Δ.Ο . Μια διανυσματική σχέση.

Κάνω την παρακάτω ανάλυση για κάθε παράγοντα:

$$|\mathbf{v}_j - \mathbf{V}|^2 = (\mathbf{v}_j - \mathbf{V}) \cdot (\mathbf{v}_j - \mathbf{V}) \rightarrow |\mathbf{v}_j - \mathbf{V}|^2 = v_j^2 + V^2 - 2\mathbf{v}_j \cdot \mathbf{V}$$

όπου  $j = 1,2,3,4$ .

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}m_A (v_1^2 + V^2 - 2\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{V}) + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)(v_2^2 + V^2 - 2\mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{V}) \\ = \frac{1}{2}m_B (v_4^2 + V^2 - 2\mathbf{v}_4 \cdot \mathbf{V}) + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)(v_3^2 + V^2 - 2\mathbf{v}_3 \cdot \mathbf{V}) + \Delta E \\ \frac{1}{2}m_A v_1^2 + \frac{1}{2}m_A V^2 - \frac{1}{2}m_A 2\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{V} + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)v_2^2 + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)V^2 - \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)2\mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{V} \\ = \frac{1}{2}m_B v_4^2 + \frac{1}{2}m_B V^2 - \frac{1}{2}m_B 2\mathbf{v}_4 \cdot \mathbf{V} + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)v_3^2 + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)V^2 \\ - \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)2\mathbf{v}_3 \cdot \mathbf{V} + \Delta E \end{aligned}$$

Διαμορφώνω την σχέση έτσι ώστε να εμφανιστεί η (1).

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}m_A v_1^2 + \frac{1}{2}(m_B + m_\Gamma)v_2^2 + \frac{1}{2}(m_A + m_B + m_\Gamma)V^2 - m_A \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{V} - (m_B + m_\Gamma)\mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{V} = \\ \frac{1}{2}m_B v_4^2 + \frac{1}{2}(m_A + m_\Gamma)v_3^2 + \Delta E + \frac{1}{2}(m_A + m_B + m_\Gamma)V^2 - m_B \mathbf{v}_4 \cdot \mathbf{V} - (m_A + m_\Gamma)\mathbf{v}_3 \cdot \mathbf{V} \end{aligned}$$

Με την βοήθεια της (1) και απλοποίηση προκύπτει :

$$-m_A \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{V} - (m_B + m_\Gamma)\mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{V} = -m_B \mathbf{v}_4 \cdot \mathbf{V} - (m_A + m_\Gamma)\mathbf{v}_3 \cdot \mathbf{V} \rightarrow$$

$$m_A \mathbf{v}_1 + (m_B + m_\Gamma)\mathbf{v}_2 = m_B \mathbf{v}_4 + (m_A + m_\Gamma)\mathbf{v}_3$$

$$\mathbf{P}_{Tελ} = \mathbf{P}_{Αρχ}$$

Δείξαμε μια πολύ σημαντική πρόταση.

Δεχθήκαμε την Αρχή του Γαλιλαίου για το αναλλοίωτο.

Δηλαδή ότι κατά την κρούση η Ενέργεια και η Μάζα

διατηρούνται σε κάθε αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Βρήκαμε ότι για να ισχύουν οι Νόμοι αυτοί πρέπει απαραίτητα

να ισχύει και η Αρχή Διατήρησης της Ορμής.

## Επίλογος

Θα ήθελα την εργασία αυτή να την αφιερώσω  
στους φίλους του ylikonet  
που με τις φωτεινές και ανήσυχες σκέψεις τους  
αμφισβητούν κάθε "καθεστωτική" αντίληψη  
για την Φυσική Σκέψη.



Με βοήθησαν στην εργασία αυτή

α. Μηχανική: C.Kittel- W.D.Knight-M.A.Ruderman-A.C.Helmholz-B.J.Moyer.

β. Κλασσική Μηχανική : Σ.Πνευματικός

γ. Χημεία Κατεύθυνσης Β' Λυκείου - Ο.Ε.Δ.Β.

Γιάννης Δογραματζάκης