Η ασημαντότητα του μεγέθους “*qlu-qlu*”

Μια επιστολή διαμαρτυρίας

Ξεκινώντας, θα σας πω μια ιστορία… Κάπου στο μακρινό 1987, μια μέρα, μπαίνει στην τάξη ο καθηγητής της Φυσικής. Ήμουν, τότε, μαθητής στην Α΄ Λυκείου…

Ο, καθ’ όλα αξιοσέβαστος και ιδιαίτερα ευσυνείδητος κ. Τάδε (ας μην πούμε ονόματα για ευνόητους λόγους) ξεκινά εκείνο το πρωινό το μάθημά του λέγοντας, περίπου, τα εξής:

«Καλημέρα παιδιά, σήμερα θα μάθουμε ένα καινούριο μέγεθος. Ονομάζεται ορμή, συμβολίζεται με $\vec{J}$ και ορίζεται ως το γινόμενο της μάζας (m) ενός σώματος επί την ταχύτητά του ($\vec{\upsilon}$). Δηλαδή: $\vec{J} = m\vec{\upsilon}$. Στο S.I. το μετράμε σε… κλπ, κλπ». Στο ίδιο, ή σε επόμενο μάθημα μας ανέφερε τη σχέση ορμής – δύναμης και την αρχή διατήρησης της ορμής.

«Καλά» θα πείτε, «και που είναι το κακό;», «αφού πάνω – κάτω όλοι το ίδιο μοτίβο ακολουθούν στη διδασκαλία», «το ίδιο μοτίβο ακολουθούν και τα περισσότερα (;) βιβλία», «το ίδιο μοτίβο και οι φροντιστές που πάντα προηγούνται ημών, των “σχολικών” καθηγητών».

Ας ξαναγυρίσουμε, όμως, πίσω στο μακρινό 1987 και ας δούμε τι σκέφτηκα εγώ, ως μαθητής, εκείνη τη μέρα: «Όχι ρε π… μου, πάλι καινούριο μέγεθος; Αφού ξέρουμε τη μάζα, ξέρουμε και την ταχύτητα, ξέρουμε και από πέρσι (Γ’ Γυμνασίου) την κινητική ενέργεια που συνδέει τα δύο μεγέθη, τι το θέλουμε το νέο μέγεθος; και γιατί m·υ; και γιατί δεν μαθαίνουμε *μόνο* αυτό που είναι πιο εύκολο και μάθαμε και την κινητική ενέργεια;»

Προφανώς, τόσα χρόνια μετά, δεν είναι και πολύ σίγουρο ότι τα ερωτήματα ήρθαν ακριβώς έτσι στο μυαλό του 16χρονου μαθητή. Αλλά ότι τα ερωτήματα ξεκίνησαν με το «γιατί να μάθουμε ένα καινούριο μέγεθος;» μου είναι απολύτως σίγουρο…

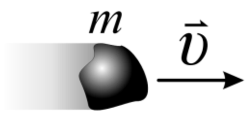
Τι απαντάμε, λοιπόν, στον μαθητή αυτό; «Μάθε παιδί μου το νέο αυτό (θεόσταλτο) μέγεθος και μην ρωτάς άλλα… Θα καταλάβεις αργότερα… θα δεις που χρησιμεύει… θα… θα…»

Πως σας φαίνεται; Λογικό;

Όσα χρόνια κάνω μάθημα, γύρω στα 20 σχολικά και πάνω από 25 συνολικά, όποτε έφτανε η στιγμή να διδάξω την ορμή, τα παιδιά την ήξεραν… την είχαν ήδη «διδαχθεί»… Ξεκινώ να πω κάτι και από κάτω πετάγονται φωνές που λένε τύπους, μονάδες, αρχές και νόμους. Και όταν (αγανακτισμένος που δεν με έχουν αφήσει να εισάγω την ορμή όπως θέλω ή όπως κατά τη γνώμη μου πρέπει) ρωτώ: «για πείτε μου γιατί η ορμή είναι $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$;», ποτέ δεν έχω πάρει ούτε μια σωστή απάντηση. Και μιλάμε για 25 χρόνια!

Για να το κάνω πιο έντονο το ερώτημα «γιατί $m\vec{\upsilon}$;» ακολουθώ, τα τελευταία χρόνια, την εξής διαδικασία:

-Έστω ότι έχουμε ένα σώμα που έχει μάζα m και ταχύτητα $\vec{\upsilon}$.
Ζωγραφίζω και το σχήμα…



-Αμέσως οι (από πριν γνωρίζοντες) μαθητές αναφέρουν την “Ορμή”.
Κάνω ότι δεν ακούω… Συνεχίζω…

-Το σώμα έχει κινητική ενέργεια; $K = \frac{1}{2}m\upsilon^2$;

-Ναι! Όλοι με μια φωνή…

-Κάποιοι (πάντα!) συνεχίζουν: έχει και ορμή, p= mυ.

-Εξακολουθώ να κάνω ότι δεν ακούω…

-Το σώμα έχει qlu-qlu; Ρωτώ…

-Τι είναι το qlu-qlu κύριε; (γελάκια)

-Το qlu-qlu είναι ένα μέγεθος που ορίζεται ως: $\boxed{qlu-qlu=\frac{m^3\upsilon^8}{5}}$ (το βάζω και σε κουτάκι για να το επισημοποιήσω).

Βουβαμάρα στην τάξη… σιγά – σιγά αρχίζουν κάποιοι να μιλάνε:

-Τι μέγεθος είναι αυτό; Δεν υπάρχει…

-Φυσικά και υπάρχει… Εγώ το ανακάλυψα! Είμαι ο επίσημος εφευρέτης του μεγέθους qlu-qlu.

Τώρα τα γελάκια έχουν γίνει κανονικά γέλια. Συνεχίζω…

-Γιατί γελάτε; Έχω το σώμα μάζας m και ταχύτητας υ (τους δείχνω το σχήμα). Δεν έχει αυτό το σώμα qlu-qlu=$m^3υ^8/5$; Φυσικά και έχει. Αφού έχει κινητική ενέργεια K=½$mυ^2$, θα έχει και οτιδήποτε σχετίζεται με τα μεγέθη m και υ.

-Θα έχει qlu-qlu… θα έχει κινητική ενέργεια… θα έχει ακόμα και "ορμή" που είπαν κάποιοι στην αρχή… Τι είπατε ότι είναι η "ορμή";

-m·υ κύριε.

-Α! άρα ορμή= m·υ

-Με p συμβολίζεται κύριε.

-Α! άρα p=m·υ

-Δηλαδή το σώμα έχει κινητική ενέργεια (½$mυ^2$), έχει ορμή (m·υ), έχει και qlu-qlu ($m^3υ^8$/5). Τι; Δεν έχει;…

Σιωπή…

-Έχει και παραέχει!

-Έχει και άλλα μεγέθη: tsu=m/υ, fli=υ/m, ex=$m^7/\sqrt{υ}$, κλπ, κλπ…

-Αλλά ας μείνουμε στο δικό μου (αποκλειστική ανακάλυψη) μέγεθος:

$$\boxed{qlu-qlu=\frac{m^3\upsilon^8}{5}}^{\text{TM}}$$ (made by T. Nezis)

-Ας δώσουμε και ένα αριθμητικό παράδειγμα: σώμα μάζας m= 2 kg κινείται με ταχύτητα υ= 4 m/s. Το σώμα έχει:

● <u>Κινητική ενέργεια</u>: $K=\frac{1}{2}m\upsilon^2=\frac{1}{2}\cdot 2\cdot 4^2=16\ J$

● <u>Ορμή</u>: $p=m\upsilon=2\cdot 4=8\ kg\,m/s$

● <u>qlu-qlu</u>: $qlu-qlu=\frac{m^3\upsilon^8}{5}=\frac{2^3\cdot 4^8}{5}=104.857{,}6\ kg^3\,m^8/s^8=104.857{,}6\ Tn$ (*Tn*: η μονάδα στο S.I.)

-Και έρχεται πλέον το κρίσιμο ερώτημα: Γιατί οι αξιόλογοι συνάδελφοι που ανακάλυψαν την κινητική ενέργεια, την ορμή, όπως και άλλα μεγέθη της φυσικής, έγιναν πασίγνωστοι και τους μνημονεύουμε μέχρι σήμερα και εμένα (τον εφευρέτη του qlu-qlu) δεν με ξέρει ούτε η μάνα μου; (εντάξει, η μάνα μου με ήξερε όσο ζούσε).

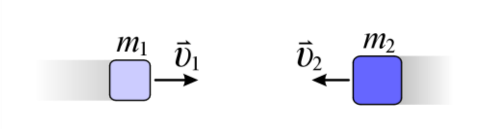
-Εν τέλει, γιατί ένα μέγεθος αξίζει να το μάθουμε και να το χρησιμοποιούμε, ενώ ένα άλλο όχι;

Εδώ μπορεί και να ακουστεί καμιά φράση σαν «γιατί μας βοηθάει να λύνουμε προβλήματα κύριε…», όμως στον αντίλογο «ποια προβλήματα; Αυτά που εμείς φτιάξαμε και ζητάμε τα μεγέθη που εμείς πάλι, έχουμε ορίσει;» επικρατεί πάλι σιωπή…

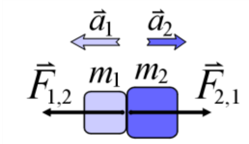
Ας πάρουμε, επομένως, τα πράγματα από την αρχή… Από την αρχή, όμως!

Η νευτωνική φυσική για την κίνηση μας ορίζει (αξιωματικά) τρεις νόμους. Από αυτούς, μόνο ο 3^{ος} μιλάει για την αλληλεπίδραση των σωμάτων. Ξεκινάμε, λοιπόν, από αυτόν:

Δύο σώματα κινούνται το ένα προς το άλλο και συγκρούονται.



Κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης πολλά και ενδιαφέροντα πράγματα γίνονται. Η σύγκρουση διαρκεί πολύ μικρό χρονικό διάστημα και οι γνώσεις μας γι’ αυτό είναι περιορισμένες. Ξέρουμε όμως ότι τα σώματα αλληλεπιδρούν. Το ένα ασκεί στο άλλο μια δύναμη. Οι δυο μαζί λέγονται *ζεύγος δράσης – αντίδρασης*.



Οι δυνάμεις (σύμφωνα με τον 3^{ο} νόμο του Νεύτωνα) έχουν ίσα μέτρα, αντίθετες κατευθύνσεις και ως αποτέλεσμα έχουν την πρόκληση επιταχύνσεων στα σώματα.

Πως το ξέρουμε αυτό; Μα, φυσικά, από τον 2^{ο} νόμο του Νεύτωνα ($\vec{F}_{1,2} = m_1\vec{a}_1$ & $\vec{F}_{2,1} = m_2\vec{a}_2$). Ως αποτέλεσμα των δυνάμεων αυτών και κατ’ επέκταση των επιταχύνσεων που δημιουργούν, έχουμε το σώμα μάζας m_1 να σταματάει την κίνησή του και να ανακρούεται προς τα πίσω. Αντίστοιχα κάνει και το σώμα μάζας m_2.

Να σημειώσουμε εδώ πως αυτό είναι ένα από τα πολλά σενάρια μιας κρούσης. Όμως μας βολεύει για την επόμενη επιχειρηματολογία μας.

Για να βάλουμε τα πράγματα σε μια σειρά:

» Τα σώματα αλληλεπιδρούν με δυνάμεις δράσης – αντίδρασης (3^{ος} νόμος Νεύτωνα). Αυτές είναι ίσου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης. Δηλαδή:

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1} \qquad (1)$$

» Η κάθε δύναμη υπακούοντας στον 2^{ο} νόμο Νεύτωνα προκαλεί αντίστοιχη επιτάχυνση στο σώμα στο οποίο ασκείται:

$$\left.\begin{array}{l}\vec{F}_{1,2}=m_1\vec{a}_1\\ \vec{F}_{2,1}=m_2\vec{a}_2\end{array}\right\}\xrightarrow{(1)} m_1\vec{a}_1=-m_2\vec{a}_2 \qquad (2)$$

» Η κρούση διαρκεί πολύ μικρό χρονικό διάστημα (Δt) και σε αυτό, το κάθε σώμα μεταβάλει την ταχύτητά του κατά $\Delta\vec{\upsilon}_1$ & $\Delta\vec{\upsilon}_2$ αντίστοιχα, λόγω των αντίστοιχων επιταχύνσεων:

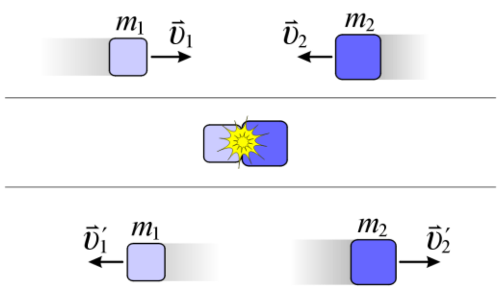
$$\left.\begin{array}{l}\vec{a}_1=\dfrac{\Delta\vec{\upsilon}_1}{\Delta t}\\ \vec{a}_2=\dfrac{\Delta\vec{\upsilon}_2}{\Delta t}\end{array}\right\}\xrightarrow{(2)} m_1\frac{\Delta\vec{\upsilon}_1}{\Delta t}=-m_2\frac{\Delta\vec{\upsilon}_2}{\Delta t} \qquad (3)$$

» Η τελευταία σχέση (3) με απαλοιφή του χρόνου (κοινού χρονικού διαστήματος κρούσης) γίνεται:

$$\begin{array}{l} m_1\Delta\vec{\upsilon}_1=-m_2\Delta\vec{\upsilon}_2 \Rightarrow \\ m_1(\vec{\upsilon}_1'-\vec{\upsilon}_1)=-m_2(\vec{\upsilon}_2'-\vec{\upsilon}_2)\Rightarrow \\ m_1\vec{\upsilon}_1'-m_1\vec{\upsilon}_1=-m_2\vec{\upsilon}_2'+m_2\vec{\upsilon}_2\Rightarrow \\ \boxed{m_1\vec{\upsilon}_1'+m_2\vec{\upsilon}_2'=m_1\vec{\upsilon}_1+m_2\vec{\upsilon}_2} \quad (4)\end{array}$$

» Εδώ σταματάμε, να πάρουμε μια ανάσα και να δούμε τι έχουμε γράψει…

Δύο σώματα κινούνται το ένα προς το άλλο. Συγκρούονται. Στη διάρκεια της κρούσης (που είναι ελάχιστη) δεν πολύκαταλαβαίνουμε τι συμβαίνει (τουλάχιστον σε μικροσκοπικό επίπεδο). Στη συνέχεια τα σώματα ανακρούονται με νέες ταχύτητες, διαφορετικές από τις αρχικές τους. Όμως τα γινόμενα των μαζών επί τις αντίστοιχες ταχύτητες των σωμάτων πριν και μετά την κρούση έχουν σταθερά αθροίσματα.



Ας επαναδιατυπώσουμε: *το άθροισμα των γινομένων $m\vec{\upsilon}$ κάθε σώματος πριν και μετά την κρούση παραμένει ίδιο (σταθερό)*. Αυτό μας δίνει μια **αρχή διατήρησης**. Κάτι που αρχικά δεν θα μπορούσαμε να το υποθέσουμε. Κάτι μη αυτονόητο!

Τι έχουμε λοιπόν;

$$m_1\vec{\upsilon}_1'+m_2\vec{\upsilon}_2'=m_1\vec{\upsilon}_1+m_2\vec{\upsilon}_2 \qquad (4)$$

Δηλαδή το μέγεθος “ $m\vec{\upsilon}$ ” θα πρέπει να είναι κάτι ιδιαίτερο, κάτι σημαντικό, κάτι που… ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ!

Φυσικά να τονίσουμε ότι διατηρείται μόνο το $m\vec{\upsilon}$ και όχι το $m^3u^8/5$, ούτε καν το $½mu^2$.

Και που οφείλεται αυτή η διατήρηση; Μα πουθενά!

Ωπ! Τι σημαίνει «πουθενά»; Δεν υπάρχει για όλα μια αιτία;

Όπως έχουμε πει (και αναφέρομαι στην Α΄ Λυκείου) οι νόμοι του Νεύτωνα δεν αποδεικνύονται. Είναι αξιώματα (όπως και ο ίδιος ο Νεύτωνας τα ονόμαζε). Απλά ισχύουν. Και ισχύουν πάντα! Τουλάχιστον στον μακρόκοσμο. Και μέσω των νόμων αυτών (του 2^{ου} και του 3^{ου} για την ακρίβεια) καταλήξαμε στην διατήρηση ενός «περίεργου» γινομένου… του γινομένου $m\vec{\upsilon}$.

Επομένως η διατήρηση του μεγέθους – γινομένου προκύπτει από την αξιωματική θεμελίωση των νόμων της κίνησης.

Μ’ αυτά και μ’ αυτά, μάλλον, έχει αρχίσει να γίνεται κατανοητό πως αυτό το μέγεθος, το γινόμενο $m\vec{\upsilon}$, πρέπει να το ονομάσουμε κάπως…

Ο Νεύτωνας το ονόμασε “*ποσότητα κίνησης*”. Στη συνέχεια και μέχρι σήμερα ονομάζεται **ορμή**. Και συμβολίζεται με $\vec{p}$.

ΟΡΜΗ: $\boxed{\vec{p} = m\vec{\upsilon}}$

Και η αρχή διατήρησης του μεγέθους, η εξίσωση (4), παίρνει πλέον τη μορφή:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

ή αλλιώς:

$$\boxed{\vec{p}_{\text{ΟΛΙΚΟ}}^{\,αρχικό} = \vec{p}_{\text{ΟΛΙΚΟ}}^{\,τελικό}}$$

και θα πάρει την ονομασία: **Αρχή Διατήρησης της Ορμής** (Α.Δ.Ο.)

Η σπουδαιότητα του μεγέθους «ορμή» (και η αναγκαιότητα ορισμού της ως $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$) έχει να κάνει με την Αρχή Διατήρησης της Ορμής. Μια αρχή που ενώ αναδείχτηκε μέσω των (μακροσκοπικών) νόμων του Νεύτωνα, φαίνεται πως ισχύει και για συμπεριφορές υποατομικών / στοιχειωδών σωματιδίων, εκεί που η Νευτωνική φυσική παραχωρεί ταπεινά τη θέση της στην σπουδαία Κβαντομηχανική.

Δεν ορίζουμε, επομένως, την ορμή τυχαία. Την ορίζουμε επειδή προκύπτει μέσα από τους νόμους του Νεύτωνα ως ένα διατηρούμενο μέγεθος. Και στη συνέχεια μαθαίνουμε πως η ισχύ της επεκτείνεται και πέρα από τις περιοχές που ορίστηκε, και πέρα από τον μακρόκοσμο. Η ισχύ της είναι (μάλλον) καθολική και φτάνει μέχρι τις εσχατιές του υποατομικού μικρόκοσμου.

Κλείνοντας αξίζει να αναφερθούμε σε δύο ακόμη θέματα:

Αρκετά βιβλία εισάγουν την ορμή (πριν την Α.Δ.Ο.) ως μέγεθος που σχετίζεται με την «αδράνεια κατά την κίνηση». Δηλαδή όταν ένα σώμα κινείται είναι δύσκολο να σταματήσει και η δυσκολία αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του ή/και η ταχύτητά του. Άρα το γινόμενο μάζας επί την ταχύτητα δίνει αυτή τη δυσκολία αλλαγής της κινητικής κατάστασης, όταν η κατάσταση αυτή είναι κίνηση. Όμως και πάλι κανείς δεν εξηγεί γιατί m·υ και όχι ½m$υ^2$ ή ½m^2υ ή ακόμα και $m^3υ^8$/5… Έχουμε, επομένως, έναν μη επαρκώς αιτιολογημένο ορισμό που στις επόμενες σελίδες θα κατανοηθεί πλήρως μέσω της Α.Δ.Ο.

Σε άλλες περιπτώσεις βλέπουμε και πάλι έναν a priori ορισμό της ορμής ($\vec{p} = m\vec{\upsilon}$), στη συνέχεια τον συσχετισμό της με τη δύναμη ($\Sigma\vec{F} = m\vec{a} = \cdots = \Delta\vec{p}/\Delta t$) και τέλος, με μηδενισμό της δύναμης, βλέπουμε τον μηδενισμό του $\Delta\vec{p}$, άρα τη διατήρηση της ορμής (Α.Δ.Ο.). Θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι ορίζουμε έτσι την ορμή ώστε να καταλήξουμε, με τον παραπάνω συλλογισμό, στην Α.Δ.Ο. Και πάλι, όμως, η ορμή ορίζεται ουρανοκατέβατα… χωρίς κανένα προηγούμενο ερέθισμα…

Επιμέλεια: *Αναστάσιος Νέζης*

http://nezistasos.wixsite.com/nezistasos

Ενδεικτική βιβλιογραφία:

1) Φυσική Α΄ Λυκείου, Π. Κόκκοτας, Δ. Κρέμος, ΟΕΔΒ, 1992

2) Φυσική Γ΄ Λυκείου, Ι. Βλάχος, Κ. Ζάχος, Π. Κόκκοτας, Γ. Τιμοθέου, ΟΕΔΒ, 1997

3) Φυσική Α΄ Λυκείου, Ν. Δαπόντες, Α. Κασσέτας, Σ. Μουρίκης, Μ. Σκιαθίτης, ΟΕΔΒ, 1997

4) Φυσική Β΄ Λυκείου (θετικού προς/μου), Ι. Βλάχος, Ι. Γραμματικάκης, Β. Καραπαναγιώτης, Π. Περιστερόπουλος, Γ. Τιμοθέου, ΙΤΥΕ, 2016

5) Οι Έννοιες της Φυσικής, P.G. Hewitt, τόμος Ι, ΠΕΚ, 1992

6) The Feynman Lectures on Physics, Vol. I, R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, PBS, 2010

7) Φυσική, Μέρος Α, D. Halliday, R. Resnick, Γ.Α.Πνευματικός, 1990

8) Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α, H. Young, Εκδ. Παπαζήση, 1994