Τα Προβλήματα Fermi πάνε σχολείο…

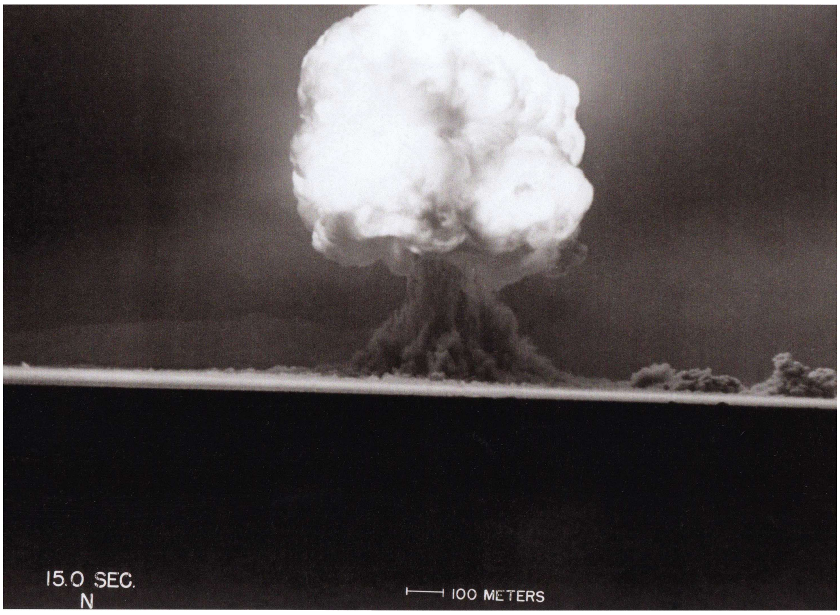
16 Ιουλίου 1945

Νέο Μεξικό, Αμερικανική πολεμική βάση.

Η ομάδα παρατήρησης έχει πάρει θέση μερικές δεκάδες χιλιόμετρα μακριά από το σημείο μηδέν. Παρά το πρωινό της ώρας η ζέστη και η άπνοια που επικρατεί έχουν κάνει την ατμόσφαιρα αποπνικτική. Ο ήλιος ετοιμάζεται να ανατείλει. Οι προετοιμασίες για τη δοκιμή έχουν καθυστερήσει. Τα συνεργεία δούλευαν όλο το βράδυ και τώρα όλα φαίνονται να είναι έτοιμα. Τα μέλη της ομάδας παρατήρησης φοράνε τα προστατευτικά γυαλιά τους. Η ώρα είναι 5:29… Μια εκτυφλωτική λάμψη απλώνεται στο χώρο. Τα βλέμματα παγώνουν. Η αναπνοή κόβεται. Η ιστορία καταγράφει. Ένας μικρός ήλιος λάμπει στο έδαφος της Γης. Ο *«καταστροφέας των κόσμων»* έχει μόλις γεννηθεί. Η δοκιμή της πρώτης πυρηνικής βόμβας είναι πλέον γεγονός.

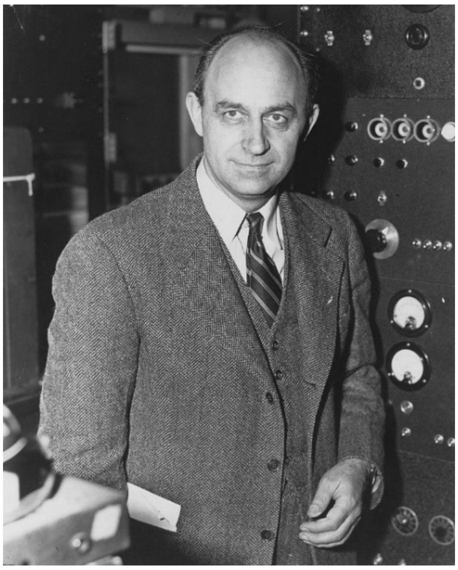
Σαράντα δευτερόλεπτα αργότερα μια δυνατή ριπή ανέμου κάνει την εμφάνισή της στη θέση παρατήρησης. Ο Ιταλός αφήνει από τη χούφτα του μερικά κομματάκια χαρτί να πέσουν από ύψος περίπου 1,5 μέτρου. Τα παρατηρεί να αιωρούνται αργά στον αέρα, καθώς το ωστικό κύμα τα παρασέρνει και προσγειώνονται 2,5 μέτρα παρακάτω. Αυτά ήταν όσα χρειαζότανε. Μετά από μερικούς σύντομους υπολογισμούς έχει εκτιμήσει την ισχύ της έκρηξης. Η τιμή που έδωσε ήταν αντίστοιχη με αυτή της έκρηξης 10 κιλοτόνων TNT.

Ο Enrico Fermi είχε καταφέρει με απλούς στοιχειώδεις συλλογισμούς να δώσει μια εκτίμηση που διαφέρει από την τιμή που προέκυψε μετά από λεπτομερείς υπολογισμούς κατά ένα παράγοντα μικρότερο του 2. Η «επίσημη εκδοχή» της ενέργειας που απελευθερώθηκε κατά την έκρηξη δίνει μια αντιστοιχία ίση με 18,6 κιλοτόνους TNT.



Εικόνα 1. Trinity ήταν το κωδικό όνομα της δοκιμής της πρώτης πυρηνικής βόμβας.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1930 ο Fermi ήταν αναμφισβήτητα ένας από τους μεγαλύτερους επιστήμονες της εποχής και είχε «χρησιμοποιηθεί» από το φασιστικό καθεστώς του Μουσολίνι ως διεθνής σημαία του καθεστώτος στο χώρο της επιστήμης. Ο ίδιος, πιθανόν επειδή προσέβλεπε σε υποστήριξη του έργου του, είχε γίνει μέλος του φασιστικού κόμματος της Ιταλίας. Μερικά χρόνια αργότερα αυτό θα αντιστρεφόταν καθώς μια σειρά από αντιεβραϊκούς νόμους έθεταν σε κίνδυνο την ίδια του την οικογένειά καθώς η γυναίκα του είχε εβραϊκή καταγωγή. Έτσι το 1938 αποφάσισε να μεταναστεύσει στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η συμμετοχή του στο πρόγραμμα Manhattan που είχε ως στόχο την κατασκευή της πρώτης πυρηνικής βόμβας καθοδηγούταν και από τα αισθήματά του απέναντι στο φασισμό που πλέον είχαν αναστραφεί.

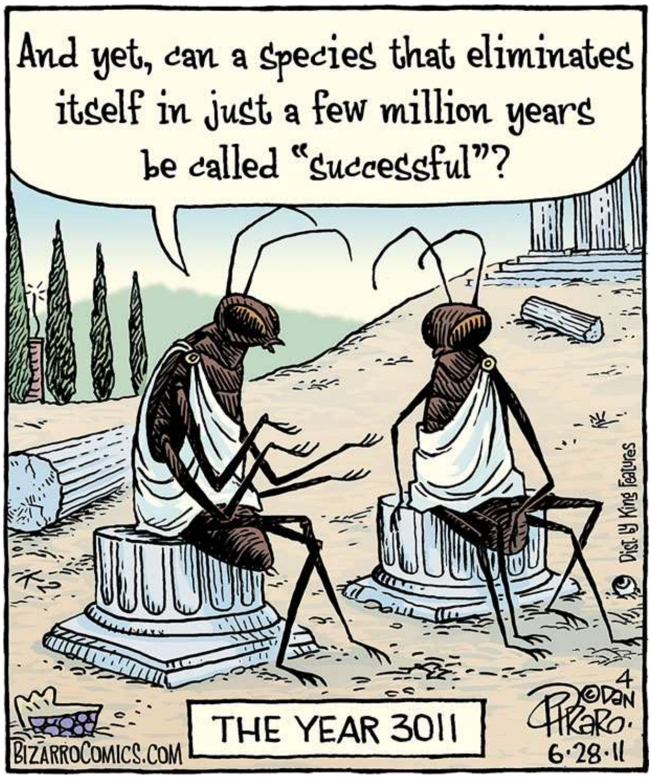


Εικόνα 2. Ο Enrico Fermi (1901-1954) υπήρξε ένας από τους πρωτεργάτες (μαζί με τον Robert Openheimer) στην κατασκευή της πρώτης πυρηνικής βόμβας.

Μετά τη χρήση της πυρηνικής βόμβας από τις ΗΠΑ, στη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι, ο Fermi- όπως και αρκετοί από τους πρωτεργάτες του προγράμματος Manhattan- εναντιώθηκε στη χρήση των πυρηνικών όπλων καθώς και στην προσπάθεια να δημιουργηθούν καινούρια. Η σκέψη του άλλαξε ριζικά. Είναι γνωστή η θέση του για την ύπαρξη εξωγήινων πολιτισμών. Συχνά χρησιμοποιούσε την ερώτηση:

«αφού η ύπαρξη εξωγήινων πολιτισμών είναι στατιστικά αναπόφευκτη, που είναι;»

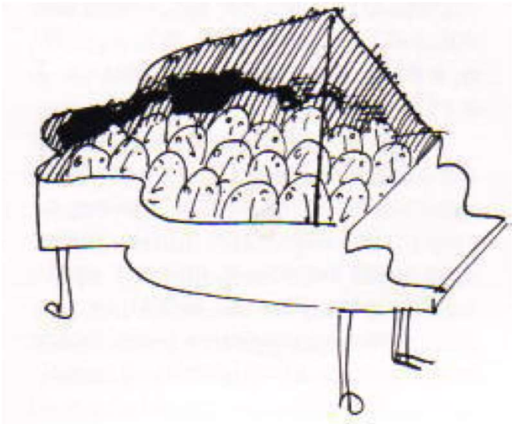
η οποία είναι γνωστή και ως «το παράδοξο του Fermi». Θεωρούσε ότι κανένας τεχνολογικός πολιτισμός δεν κατάφερε να «ενηλικιωθεί» και να επιβιώσει από μια πυρηνική καταστροφή.



Τα Προβλήματα Fermi

Ο Fermi, εκτός των άλλων, ήταν γνωστός για την αξιοσημείωτη ικανότητα που είχε, να βρίσκει πολύ γρήγορα προσεγγιστικές λύσεις σε προβλήματα που η απάντησή τους έμοιαζε ακατόρθωτη. Η πιο διάσημη -αντίστοιχη- ερώτηση που αποδίδεται στον ίδιο είναι η παρακάτω:

«Πόσοι κουρδιστές πιάνου υπάρχουν στο Σικάγο;»



Τέτοιου είδους ερωτήσεις δημιουργούν αρχικά την αίσθηση ότι είναι ανέφικτο να απαντηθούν, τουλάχιστον χωρίς να καταφύγουμε στο «χρυσό οδηγό» ή στο σύγχρονο αντίστοιχό του, τη Google! Ωστόσο μετά από μια λεπτομερή εξέταση του προβλήματος μπορούμε να δούμε ότι η ερώτηση μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά απλούστερων ερωτημάτων που μας επιτρέπουν προσεγγιστικές λύσεις και έτσι μας οδηγούν σε μια προσεγγιστική μεν, αλλά αρκετά λογική δε, απάντηση του αρχικού ερωτήματος.

Μια προσπάθεια απάντησης…

Ας προσπαθήσουμε να απαντήσουμε την παραπάνω ερώτηση για την πόλη του Ηρακλείου. Η ερώτηση μπορεί να χωριστεί στα παρακάτω απλούστερα ερωτήματα:

1. Ποιος είναι ο πληθυσμός της πόλης του Ηρακλείου;
2. Πόσες οικογένειες αντιστοιχούν σε αυτό τον πληθυσμό;
3. Ποιο ποσοστό των οικογενειών διαθέτει πιάνο;
4. Πόσες φορές κουρδίζει μια οικογένεια το πιάνο της κάθε χρόνο;
5. Πόσα κουρδίσματα πιάνου μπορεί ένας κουρδιστής να κάνει σε ένα χρόνο;

Με βάση τα παραπάνω ας προσπαθήσουμε να κατασκευάσουμε ένα τύπο που θα επιλύει το πρόβλημά μας. Έστω $\boldsymbol{N}$ ο συνολικός πληθυσμός της πόλης. Αν υποθέσουμε ότι κατά μέσο όρο μια οικογένεια έχει $\boldsymbol{i}$ μέλη, τότε το σύνολο των οικογενειών θα είναι $\boldsymbol{N/i}$. Έστω ότι το ποσοστό των οικογενειών που διαθέτει πιάνο είναι $\boldsymbol{r}$. Ας υποθέσουμε τώρα ότι κάθε πιάνο κουρδίζεται $\boldsymbol{f}$ φορές κάθε χρόνο. Έτσι ο αριθμός των πιάνων που κουρδίζονται κάθε χρόνο θα είναι:

$$\boldsymbol{\Pi = \frac{N \cdot r \cdot f}{i}}$$

Αν κάθε κουρδιστής αναλαμβάνει ***k*** πιάνα κάθε ημέρα και οι εργάσιμες ημέρες του έτους είναι περίπου ***250***, τότε κάθε κουρδιστής θα κουρδίζει $\boldsymbol{p = 250 \cdot k}$ πιάνα κάθε χρόνο. Επομένως για να βρούμε μια απάντηση αρκεί να διαιρέσουμε την ποσότητα ***Π*** με την ποσότητα ***p***.

$$\boxed{\boldsymbol{K = \frac{\Pi}{p} = \frac{N \cdot r \cdot f}{250 \cdot k \cdot i}}} \quad (1)$$

Ας προχωρήσουμε τώρα στις εκτιμήσεις…

Έστω ότι ο πληθυσμός του Ηρακλείου είναι περίπου 150 χιλιάδες ($\boldsymbol{N \cong 15 \cdot 10^4}$*), ότι 2 στις 10 οικογένειες διαθέτουν πιάνο ($\boldsymbol{r = 0,2}$), ότι κατά μέσο όρο μια οικογένεια κουρδίζει το πιάνο της μια φορά κάθε δύο χρόνια ($\boldsymbol{f = 0,5}$), ότι κατά μέσο όρο μια οικογένεια αποτελείται από 4 μέλη ($\boldsymbol{i = 4}$) και ότι ένας τεχνικός κουρδίζει δύο πιάνα κάθε ημέρα ($\boldsymbol{k = 2}$).

Έτσι αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στην εξίσωση (1) η εκτίμησή μας θα είναι:

$$\boldsymbol{K \cong \frac{15 \cdot 10^4 \cdot 0,2 \cdot 0,5}{250 \cdot 2 \cdot 4} \cong 7,5}$$

Άρα αν ο αριθμός των κουρδιστών είναι μερικές δεκάδες έχουμε καταφέρει να πέσουμε αρκετά κοντά…

Τα προβλήματα Fermi, όπως είναι πλέον γνωστά, φαίνονται ασαφή, με ελάχιστα ή καθόλου δεδομένα αλλά πάντα μπορούν να αναλυθούν σε ένα σύνολο απλούστερων ερωτήσεων που θα μας οδηγήσουν σε μια τελική απάντηση. Όταν αντιμετωπίζουμε ένα πρόβλημα Fermi στοχεύουμε σε μια απάντηση που να προσεγγίζει την πραγματικότητα σε τάξη μεγέθους.

Τι εννοούμε με τον όρο «τάξη μεγέθους»;

Δυο αριθμοί λέμε ότι διαφέρουν κατά μία τάξη μεγέθους αν ο λόγος τους είναι περίπου ίσος με 10. Αν ο λόγος τους είναι περίπου 100 (δηλαδή 10^2) τότε οι ποσότητες αυτές διαφέρουν κατά δύο τάξεις μεγέθους κλπ. Έτσι το 85 είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το 100, ενώ το 18 είναι ίδιας τάξης με το 10. Αν ο λόγος δύο ποσοτήτων είναι ίσος με 1,3 τότε οι ποσότητες αυτές είναι της ίδιας τάξης μεγέθους. Το ίδιο θα θεωρούμε αν ο λόγος είναι 2,3 ή ακόμα και 5. Για τις εκτιμήσεις αυτά τα σφάλματα είναι ασήμαντα.

Αυτός ο κόσμος ο μικρός ο μέγας…

Οι λέξεις «μικρό» και «μεγάλο» δεν έχουν νόημα στη φυσική, τουλάχιστον όχι από μόνες τους. Οι φυσικοί διακατέχονται από μια εμμονή να συγκρίνουν τα μεγέθη. Θα πούμε «μικρό σε σύγκριση με…» ή «μεγάλο σε σχέση με…». Συνεπώς όταν υπολογίζουμε μια ποσότητα για να καταλάβουμε αν

* Το σύμβολο “=” δηλώνει ακριβή ισότητα ενώ το σύμβολο “≅ ” δηλώνει μια προσεγγιστική ισότητα.

το αποτέλεσμά μας πλησιάζει τη λογική και είναι αποδεκτό πρέπει να το συγκρίνουμε με μια γνωστή ποσότητα του μεγέθους από την καθημερινότητά μας ή από πληροφορίες που μπορούμε εύκολα να βρούμε ώστε να αντιληφθούμε το «μέγεθος» του. Για παράδειγμα ο χρόνος 10^6s αντιστοιχεί σε 11,5 ημέρες ενώ τα 10^9s αντιστοιχούν σε 32 χρόνια!

Η σχετικότητα του «μεγάλου» και του «μικρού» δεν εξαρτάται σίγουρα από την απόλυτη τιμή του μεγέθους. Για ένα μέγεθος μπορεί η τιμή 2 να υποδηλώνει ότι αυτό είναι «μεγάλο», ενώ για ένα άλλο η τιμή 10^{18} να υποδηλώνει ότι αυτό είναι «μικρό». Ακόμα και η ίδια τιμή σε ένα πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί μεγάλη ενώ στο πλαίσιο ενός άλλου προβλήματος να θεωρηθεί μικρή.

Γιατί να εισάγουμε τα προβλήματα Fermi στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο;

Για την επίλυση ενός προβλήματος Fermi οι μαθητές θα πρέπει να συνδυάσουν μαθηματικές δεξιότητες, τη λογική σκέψη, την κρίση τους, να χρησιμοποιήσουν εμπειρίες από τη ζωή τους, να συνεργαστούν και να καλλιεργήσουν την ικανότητα να αναλύουν σύνθετα προβλήματα σε μικρότερα και απλούστερα. Σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να είναι χρήσιμη ακόμα και η εκτέλεση ενός απλού πειράματος που θα τους βοηθήσει να απαντήσουν ή ακόμα και η χρήση ενός επιστημονικού μοντέλου. Αφού οι απαιτούμενες για τη λύση πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες δίνεται η ώθηση να χρησιμοποιήσουν την ελεύθερη σκέψη, την ελεύθερη έρευνα να κρίνουν τι είναι σημαντικό και τι όχι. Εδώ η μέθοδος είναι σημαντικότερη από την ίδια την απάντηση.

Οι μαθητές που καλούνται να ασχοληθούν με ένα πρόβλημα Fermi πρέπει να διαθέτουν μια σειρά από βασικές δεξιότητες:

1. Να μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις βασικών φυσικών μεγεθών (μήκος, εμβαδόν, όγκος, μάζα, χρόνος κλπ).
2. Να κάνουν με άνεση αριθμητικές πράξεις.
3. Να κατανοούν τη χρήση κλασμάτων, τους δεκαδικούς αριθμούς και την έννοια του ποσοστού.
4. Να κατασκευάζουν αριθμητικές εξισώσεις ώστε να απαντήσουν σε ένα ερώτημα.

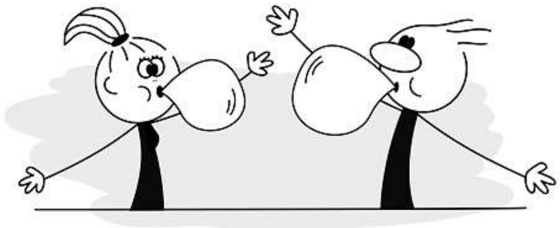
Τελικά ο μαθητής καλείται να αναπτύξει δεξιότητες όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούν οι ερευνητές στην καθημερινή τους δουλειά. Τα οφέλη δεν στοχεύουν μόνο σε μαθητές που θα προχωρήσουν τις σπουδές τους στις φυσικές επιστήμες αλλά σε όλους τους μαθητές διδάσκοντάς τους ένα τρόπο σκέψης για να επιλύουν προβλήματα της καθημερινής ζωής.

Τα προβλήματα Fermi μπορούν να καλύψουν πολλά και διαφορετικά θέματα του αναλυτικού προγράμματος (εμβαδόν, όγκος, ταχύτητα, ενέργεια κλπ), ζητήματα από την καθημερινή ζωή (οικονομικές εκτιμήσεις, περιβαλλοντικά θέματα) καθώς επίσης μπορούν να αποτελέσουν ένα όπλο ενάντια σε ψευδοεπιστημονικούς ισχυρισμούς.

Αυτή η προσέγγιση αποτελεί ένα τρόπο να ξεφύγουμε από την μονοτονία της κλασικής επίλυσης ασκήσεων και προβλημάτων και να καταφέρουμε να «ενεργοποιήσουμε» ένα μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών στην τάξη. Μπορούμε να επιλέγουμε ερωτήσεις πάνω σε θέματα που έλκουν το ενδιαφέρον τους και συνήθως ξεκινούν διασκεδαστικές συζητήσεις. Εδώ δεν υπάρχει *προτεινόμενη μεθοδολογία επίλυσης*. Η σκέψη των μαθητών θα φτιάξει το δικό της μοναδικό μονοπάτι.

Μερικά παραδείγματα για τη σχολική τάξη

«Ποιος είναι ο όγκος του αέρα που αναπνέεις σε μια ημέρα;»



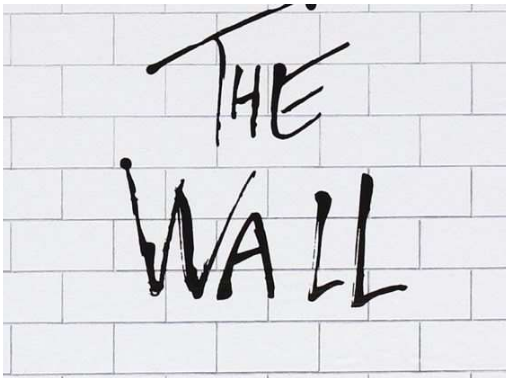
Μια μεθοδολογία για να απαντήσουμε στην ερώτηση μπορεί να είναι η παρακάτω:

1. Ένα μπαλόνι μπορούμε να το φουσκώσουμε με 2 «φυσήματα» και αυτό να αποκτήσει όγκο περίπου 1 λίτρο (*καθημερινή εμπειρία*).
2. Κάθε λεπτό παίρνουμε περίπου 18 ανάσες (*ικανότητα χρονομέτρησης ενός φαινομένου*).
3. Επομένως αναπνέουμε 9 λίτρα κάθε λεπτό (*επαγωγική σκέψη, διαίρεση*).
4. Μια ημέρα έχει περίπου $24 \cdot 60 \cong 25 \cdot 60 = 1500\ min$ (*πολλαπλασιασμός*).
5. Άρα κάθε ημέρα αναπνέουμε περίπου $1500 \cdot 9 = 13.500\ L$ αέρα (*πολλαπλασιασμός*).

Η απάντηση που μας δίνει το google είναι 11.000 λίτρα για έναν «μέσο» ενήλικα. Συνεπώς έχουμε πέσει αρκετά κοντά στην άποψη του «παντογνώστη»…

*Η συγκεκριμένη ερώτηση μπορεί να τεθεί στην τάξη όπου θα έχουμε αφήσει σε κάθε θρανίο **ένα μπαλόνι ή μερικές τσιχλόφουσκες, ένα χρονόμετρο και ένα θερμόμετρο**. Το θερμόμετρο πρέπει να κρίνουν ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ή μπορεί και να οδηγήσει σε κάποια λύση που δεν έχουμε ήδη σκεφτεί εμείς…*

«Από πόσα τούβλα είναι χτισμένη η αίθουσα;»



Έχουμε δώσει σε κάθε ομάδα ένα τούβλο και ένα χάρακα.

Περιμένουμε από τους μαθητές να αναγνωρίσουν τις μεταβλητές που θα τους οδηγήσουν στην απάντηση, να πάρουν μετρήσεις, να κάνουν εκτιμήσεις και να μας δώσουν την απάντησή τους. Έστω **a** το εμβαδόν της μεγάλης επιφάνειας του τούβλου, **A** το συνολικό εμβαδόν των τοίχων της αίθουσας, **d** το πάχος του τούβλου και **D** το πάχος του τοίχου. Αρχικά προσδιορίζουμε πόσα τούβλα χρειάζονται για να καλύψουν την επιφάνεια των τοίχων: $\boldsymbol{n = \frac{A}{a}}$. Για να υπολογίσουμε αν ο τοίχος έχει δύο στρώσεις από τούβλο υπολογίζουμε το λόγο $\boldsymbol{\frac{D}{d}}$. Έστω ότι τον βρίσκουμε λίγο μεγαλύτερο από **2.** Τότε υποθέτουμε δύο στρώσεις συν τη μόνωση. Οπότε τελικά η εκτίμησή μας θα δίνεται από τη σχέση $\boldsymbol{n' = 2\frac{A}{a}}$.

Ας προχωρήσουμε στους υπολογισμούς. Το τούβλο που έχουμε δώσει στους μαθητές είναι ένα κλασικό δωδεκάοπο με διαστάσεις $\boldsymbol{9cm \times 12cm \times 19cm}$. Με βήματα ή με τη «μέθοδο Da Vinci» ή τη «στατιστική μέθοδο» ή σύγκριση με το ύψος τους ή όποια άλλη επιλέξουν, οι μαθητές υπολογίζουν τις διαστάσεις της αίθουσας. Ας πάρουμε διαστάσεις **4m** ύψος, **7m** μήκος, **6m** πλάτος. Τέλος η αίθουσα διαθέτει έναν εξωτερικό τοίχο (τον μεγάλο) με πάχος περίπου **30cm**, οπότε υποθέτουμε διπλή στρώση αφού $\boldsymbol{\frac{D}{d} = 3}$,και οι άλλοι τρεις είναι εσωτερικοί με πάχος περίπου **12cm -**οπότε υποθέτουμε μονή στρώση αφού $\boldsymbol{\frac{D}{d} \cong 1,3}$.

Έτσι μπορούμε να κάνουμε τώρα τους υπολογισμούς μας για να υπολογίσουμε το συνολικό αριθμό **N** των τούβλων:

$$\boldsymbol{N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4}$$

$$\boldsymbol{N = 2\frac{4 \cdot 7}{0,12 \cdot 0,19} + \frac{4 \cdot 7}{0,12 \cdot 0,19} + 2\frac{4 \cdot 6}{0,12 \cdot 0,19}}$$

$$\boldsymbol{N \cong 5.700\ \tau o ύ\beta\lambda\alpha}$$

Τι άλλο θα μπορούσατε να λάβετε υπόψιν ώστε να βελτιώσετε την εκτίμησή σας;
Εδώ οι μαθητές μπορούν να αναφερθούν στην αφαίρεση από τις εκτιμήσεις του εμβαδού της πόρτας και των παραθύρων και στη λάσπη που υπάρχει ανάμεσα στα τούβλα, κλπ.

Αν ήσασταν ο μηχανικός που είχε αναλάβει την κατασκευή του σχολείου, πόσα τούβλα θα παραγγέλνατε για την κατασκευή αυτής της αίθουσας;
Το όλο θέμα παίρνει επιπλέον επέκταση με την εύρεση του κόστους των υλικών, του χρόνου εργασίας, των εργατικών εξόδων κλπ με όποια ομάδα τραβάει…

«Πόση είναι η πίεση στη μύτη του στυλό όταν γράφουμε στο χαρτί;»

Διαθέσιμη για πειραματισμούς είναι μια ηλεκτρονική ζυγαριά
(μας κάνει και της κουζίνας).

Τοποθετούμε το χαρτί στη ζυγαριά και σχεδιάζουμε μια συνεχή γραμμή πιέζοντας όσο μπορούμε πιο σταθερά το στυλό. Παρακολουθούμε τις ενδείξεις της ζυγαριάς να κυμαίνονται μεταξύ 100g-200g. Αυτό αντιστοιχεί σε μια δύναμη βάρους 1N έως 2N, οπότε θα θεωρήσουμε ότι το στυλό ασκεί στο χαρτί μια μέση δύναμη F=1,5N. Από τα στοιχεία του στυλό βλέπουμε ότι η διάμετρος είναι $d = 0{,}5mm$. Επομένως η πίεση θα είναι:

$$\boldsymbol{p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{4F}{\pi d^2}}$$

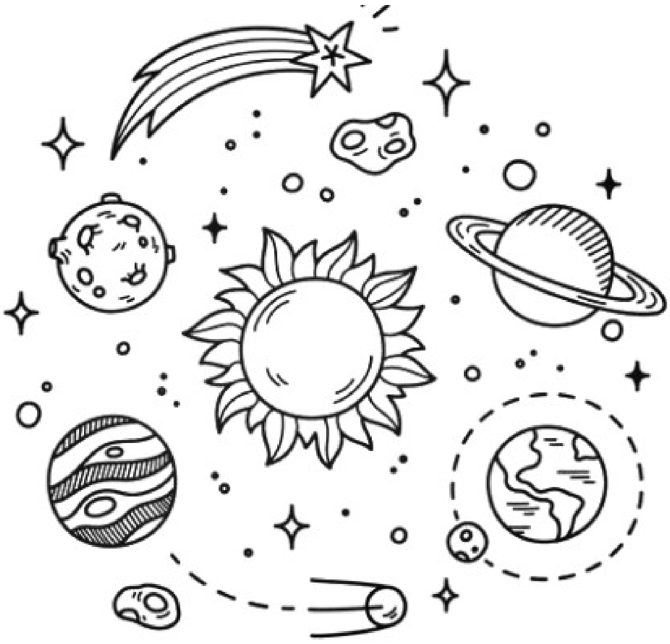
$$\boldsymbol{p \cong \frac{4 \cdot 1{,}5N}{3 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2} = 8 \cdot 10^6 N/m^2 \cong 10^7 N/m^2}$$

Ας συγκρίνουμε την παραπάνω πίεση με αυτή που υπάρχει στα πέλματά μας όταν στεκόμαστε στο έδαφος. Έστω ότι τα πόδια μας είναι κυκλικά με ακτίνα περίπου **R=10cm** και η μάζα μας είναι **m=60kg**. Η πίεση που θα είναι:

$$\boldsymbol{p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi R^2} = 10^4 N/m^2}$$

Συνεπώς η πίεση στη μύτη του στυλό είναι χίλιες φορές μεγαλύτερη από την πίεση στα πέλματά μας.

«Ποια είναι η ταχύτητα της Γης;»



Αν θεωρήσουμε ότι η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι κυκλική με ακτίνα R μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα θεωρώντας ότι η Γη καλύπτει μια απόσταση ίση με την περιφέρεια ενός κύκλου ακτίνας R σε χρόνο ίσο με ένα έτος. Έτσι

$$\boldsymbol{\upsilon_{Γης} = \frac{Απόσταση}{Χρόνος} = \frac{C}{Δt}} \qquad (1)$$

Όπου C η περιφέρεια της κυκλική τροχιάς και Δt ο χρόνος.
Η πληροφορία που μας λείπει εδώ είναι η απόσταση Γης-Ήλιου. Μια πληροφορία μαθαίνουμε από το δημοτικό σχολείο και συνήθως θυμούνται οι μαθητές είναι ότι το φως κάνει περίπου $t = 8{,}5\ λεπτά$ για να ταξιδέψει από τον Ήλιο μέχρι τη Γη. Η ταχύτητα του φωτός είναι επίσης ευκολομνημόνευτη αφού είναι περίπου $c = 300.000 km/s$. Συνεπώς:

$$\boldsymbol{R = ct = 300.000km \cdot 8{,}5min \cdot 60\frac{s}{min} = 153.000.000km}$$

Και η περιφέρεια της κυκλικής τροχιάς θα είναι:

$$\boldsymbol{C = 2\pi R \cong 2 \cdot 3 \cdot 153.000.000km = 918.000.000km}$$

Ας βρούμε πόσες ώρες έχει ο χρόνος:

$$\boldsymbol{Δt = 1yr = 365day \cdot 24\frac{h}{day} = 8760h}$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (1) υπολογίζουμε τη ζητούμενη ταχύτητα:

$$\boldsymbol{\upsilon_{\Gamma\eta\varsigma} = \frac{C}{\Delta t} = \frac{918.000.000km}{8760h} \cong 105.000\ km/h}$$

Αν τη συγκρίνουμε με τη θεωρητική τιμή που μας δίνει η Wikipedia των $107.226 km/h$ θα δούμε ότι η εκτίμησή μας βρίσκεται πολύ κοντά!

Για να τη συγκρίνουμε με κάτι λίγο πιο οικείο…
Ένα εμπορικό αεροπλάνο ταξιδεύει με ταχύτητα περίπου 900km/h, ενώ μια Formula 1 σε έναν αγώνα μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα παραπάνω από 350km/h. Έτσι η εκτίμησή μας για την ταχύτητα της Γης κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο είναι περίπου 110 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα ενός αεροπλάνου και περίπου 300 φορές μεγαλύτερη από την μεγαλύτερη ταχύτητα της Formula 1.

Μερικές ακόμη ιδέες για την τάξη…

1. *Πόσα pop corn χωράνε στην αίθουσα;*
2. *Πόσα κύτταρα περιέχει το ανθρώπινο σώμα;*
3. *Πόσα μόρια περιέχονται σε ένα ποτήρι με νερό;*
4. *Τι μήκος έχει το χαρτί υγείας που καταναλώνουν οι Έλληνες σε ένα χρόνο;*
5. *Ένας ληστής βγαίνει από μια τράπεζα με μια βαλίτσα που γέμισε στα γρήγορα με 50ευρα. Πόσα χρήματα περιέχει η βαλίτσα;*
6. *Πόσες φορές χτυπάει η καρδιά ενός ανθρώπου κατά τη διάρκεια της ζωής του;*
7. *Πόσα λίτρα CO_2 απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα το οικογενειακό σας αυτοκίνητο κάθε χρόνο;*

Πηγές:

Adam J., (1995), *Fermi Problems- Educated guesses*. Quantum v.6 n.1.

Barahmeh H. et. al., (2017), *The Effect of Fermi Questions in the Development of Science Processes Skills in Physics among Jordanian Ninth Graders*. Journal of Education and Practice, v.8 n.3.

Efthimioy C. & Llewellyn R., (2007), *Cinema, Fermi Problems and General Education*. Physics Education, v.42 n.3.

Meledin G., (1991*), Order-of-magnitude physics- Think fast!*. Quantum, v.1 n.4.

Τραχανάς Σ., (2014), *Μεγάλη Επιστήμη Ενδιαφέρουσες Ζωές-Οι πρωταγωνιστές της κβαντικής επανάστασης*, ΠΕΚ.

Τσαγλιώτης Γιώργος