



Το λιώσιμο των πάγων και η τάξη μεγέθους

Συμμετέχοντες:

Ηλικίες 12 ετών και άνω.

Επισκόπηση:

Αυτή η δραστηριότητα IDM έχει δύο ανεξάρτητα μέρη. Και τα δύο ασχολούνται με μεγάλα ερωτήματα σχετικά με πράγματα που μπορούν να συμβούν στον πλανήτη μας. Στην πρώτη δραστηριότητα οι ερωτήσεις επικεντρώνονται στο πρόβλημα της ανόδου της στάθμης της θάλασσας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στη δεύτερη δραστηριότητα η συζήτηση είναι πιο γενική για το πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν προβλήματα εκτίμησης που σχετίζονται με τον πλανήτη μας από μαθηματική και στρατηγική άποψη.

Μη διστάσετε να πειραματιστείτε με τις δύο δραστηριότητες. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε περίπου μία ώρα για κάθε μία από τις δραστηριότητες, ανάλογα με το πόσο χρόνο συζήτησης που αποφασίζετε να έχετε. Μπορείτε να κάνετε μόνο μία από αυτές ή και τις δύο, είτε τη μία μετά την άλλη είτε σε διαφορετικές ημέρες.

Ως γενική προετοιμασία, το μόνο που χρειάζεται είναι να εξοικειωθείτε με το θέμα και τις πηγές που ακολουθούν και να προετοιμάσετε κάποια ενδιαφέροντα δεδομένα για να τα μοιραστείτε με τους μαθητές σε συγκεκριμένες στιγμές.

1η Δραστηριότητα - Λιώσιμο των πάγων

Αυτή η δραστηριότητα διερευνά τι θα συνέβαινε αν οι πάγοι του πλανήτη έλιωναν εντελώς. Σε κάποιο σημείο (ίσως στην αρχή ή/και πιθανώς στο τέλος) θα πρέπει να υπενθυμίζετε στους μαθητές σας ότι πρόκειται για ένα υποθετικό σενάριο, που τίθεται για να εξασκηθούν στα μαθηματικά, τη φυσική και τις γνώσεις για τη Γη. Οι έρευνες δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η μέση στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε περίπου 16-21 cm, και αναμένεται να αυξηθεί περίπου 30 cm περισσότερο κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα. Ενώ τα πραγματικά δεδομένα είναι ανησυχητικά και πρέπει να αντιμετωπιστούν, εδώ θα εξετάσουμε πιο ακραίες καταστροφές.

1. Τι σας έρχεται πρώτο στο μυαλό;

Ξεκινήστε κάνοντας την ακόλουθη ερώτηση: "Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί σε αυτή την πόλη αν η στάθμη της θάλασσας ανέβει κατά 2 μέτρα;"

Ωθήστε τους μαθητές να είναι δημιουργικοί με τις απαντήσεις τους. Θα άλλαζε η ακτογραμμή; Θα υπήρχε μετανάστευση και πρόσφυγες από τις παράκτιες πόλεις; Έλλειψη παραγωγής τροφίμων; Οποιοσδήποτε οικονομικές επιπτώσεις; Θα άλλαζαν οι ποταμοί την πορεία τους; Τυχόν επιπτώσεις στην πανίδα; Ο στόχος είναι να τους κάνουν να σκεφτούν, όχι να δώσετε σωστές απαντήσεις (αλλά μπορείτε να προσφέρετε πληροφορίες, για παράδειγμα αναφορά [4]). Αλλάξτε την τιμή στην ερώτηση. Τι θα γινόταν αν ανέβαινε κατά 5 εκατοστά; Τι θα γινόταν αν ανέβαινε 10 μέτρα;

2. Αν ο έλιωναν οι πάγοι στο Βόρειο Πόλο

Ρωτήστε τι θα συνέβαινε αν έλιωναν οι πάγοι στον Βόρειο Πόλο. Αφήστε τους χρόνο να σκεφτούν τις δικές τους απαντήσεις.

Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, υπενθυμίστε τους ότι το κάλυμμα πάγου του Βόρειου Πόλου είναι μια μάζα πάγου που επιπλέει στον ωκεανό (δεν θα θεωρήσουμε τη Γροιλανδία ως μέρος του καλύμματος πάγου). Προτείνετε το ακόλουθο πείραμα σκέψης: Ας υποθέσουμε ότι έχετε ένα ποτήρι νερό γεμάτο μέχρι το χείλος, οπότε δεν μπορεί να περιέχει άλλο νερό. Πάνω στο νερό επιπλέει ένα παγάκι. Το μεγαλύτερο μέρος του πάγου βρίσκεται κάτω από το νερό, αλλά υπάρχει μια γωνία πάγου που προεξέχει από την επιφάνεια του νερού. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι αφήνετε το ποτήρι με το νερό και τον πάγο σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να λιώσει ο πάγος. Τι θα συμβεί; Θα ξεχειλίσει το νερό; Θα μειωθεί η στάθμη;

Ερώτηση: Τι θα συνέβαινε στη στάθμη της θάλασσας αν έλιωνε το παγόβουνο που επιπλέει στον Βόρειο Πόλο;

Απάντηση: Η στάθμη της θάλασσας θα παραμείνει ακριβώς η ίδια. Στο παράδειγμα με το παγάκι που επιπλέει στο ποτήρι, η στάθμη θα παρέμενε ακριβώς η ίδια και δεν θα χυνόταν. Η εξήγηση περιλαμβάνει τη φυσική της άνωσης (αρχή του Αρχιμήδη). Φανταστείτε ότι επιλέγετε μια συγκεκριμένη περιοχή του νερού στο ποτήρι, μια περιοχή που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια και σε επαφή με αυτήν. Τώρα φανταστείτε ότι το νερό μέσα σε αυτή την περιοχή μετατρέπεται σε πάγο. Θα διαστελλόταν προς τα πάνω, καταλαμβάνοντας μέρος του αέρα από πάνω. Επειδή όμως ο αριθμός των μορίων του νερού είναι ο ίδιος, η μάζα αυτού του πάγου είναι ακριβώς η ίδια με τη μάζα του νερού που υπήρχε πριν, και επομένως η προς τα πάνω δύναμη άνωσης που ασκείται από το υπόλοιπο νερό είναι η ίδια με πριν και αντισταθμίζει ακριβώς τη δύναμη βάρους του πάγου. Ο πάγος θα παραμείνει σε ισορροπία άντωσης.

Επομένως, η στάθμη των ωκεανών θα παρέμενε απολύτως η ίδια εάν έλιωνε το παγόβουνο του Βόρειου Πόλου. Φυσικά, θα υπήρχαν πολλές άλλες σημαντικές συνέπειες για το περιβάλλον, το κλίμα και τον πλανήτη στο σύνολό του.

3. Αν έλιωναν οι πάγοι στο Νότιο Πόλο

Τώρα δώστε το γεγονός ότι στο Νότιο Πόλο το παγοκάλυμμα βρίσκεται πάνω από τη χερσαία μάζα της Ανταρκτικής. Επομένως, αν το παγοκάλυμμα της Ανταρκτικής έλιωνε, θα προστίθετο πολύ νερό στους ωκεανούς. Ζητήστε από τους μαθητές σας να υπολογίσουν πόσο θα ανέβαινε η στάθμη της θάλασσας. Για να γίνει αυτή η εκτίμηση χρειάζονται κάποια δεδομένα, μπορείτε να

αφήσετε τους μαθητές σας να αναζητήσουν τα δεδομένα αυτά στο διαδίκτυο ή μπορείτε να τους δώσετε τα παρακάτω στοιχεία. Αν αποφασίσετε να μη δώσετε δεδομένα στους μαθητές σας, ανοίξτε μια συζήτηση σχετικά με το ποια δεδομένα (και τύπους) χρειάζονται για να βρεθούν. Σε περίπτωση που κάποιος βρει ένα τελικό αποτέλεσμα στο διαδίκτυο, μπορείτε να του ζητήσετε να δικαιολογήσει ή να ανακατασκευάσει το αποτέλεσμα αυτό από πιο βασικά δεδομένα.

Ερώτηση: Οι πάγοι στην Ανταρκτική καλύπτουν μια έκταση 14 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων και έχουν κατά μέσο όρο πάχος 2 χιλιόμετρα. Η Γη μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια σφαίρα ακτίνας 6371 χιλιομέτρων και είναι γεμάτη κατά 70% με νερό. Το νερό είναι πυκνότερο από τον πάγο, 1 κυβικό μέτρο πάγου ισοδυναμεί με 0,9 κυβικά μέτρα νερού. Αν λιώσουν όλοι οι πάγοι πάνω από την Ανταρκτική, πόσο θα ανέβει η στάθμη της θάλασσας;

Απάντηση: περίπου 70 μέτρα

Ο όγκος των πάγων στην Ανταρκτική είναι

$$14 \text{ M km}^2 \times 2 \text{ km} = 28 \text{ M km}^3 \text{ πάγος.}$$

Εάν αυτός ο πάγος λιώσει θα καλύψει

$$28 \text{ M km}^3 \text{ πάγος} \times (0,9 \text{ m}^3 \text{ νερό} / 1 \text{ m}^3 \text{ πάγος}) = 25,2 \text{ M km}^3 \text{ νερό.}$$

Από την άλλη πλευρά, η επιφάνεια της Γης είναι

$$4 \times \pi \times \text{ακτίνα}^2 = 4 \times 3,1416 \times (6371 \text{ km})^2 = 510 \text{ M km}^2.$$

Αν μόνο το 70% αυτής της επιφάνειας είναι νερό, αυτό μας δίνει μια επιφάνεια για τους ωκεανούς της τάξης του

$$510 \text{ M km}^2 \times 0,7 = 357 \text{ M km}^2.$$

Τώρα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι όλος ο λιωμένος πάγος θα συσσωρευτεί στην ίδια επιφάνεια που καλύπτουν οι ωκεανοί. Δεδομένου ότι ο όγκος ισούται με την επιφάνεια επί το ύψος,

$$\text{Όγκος} = \text{Εμβαδόν} \times \text{ύψος}$$

τότε η άνοδος του ύψους της στάθμης της θάλασσας είναι απλώς το πηλίκο του προστιθέμενου όγκου του νερού δια της επιφάνειας των ωκεανών:

$$h = 25,2 \text{ M km}^3 / 357 \text{ M km}^2 = 0,0705 \text{ km} = 70 \text{ m.}$$

Έτσι, η εκτίμησή μας είναι ότι αν όλοι οι πάγοι της Ανταρκτικής έλιωναν, η στάθμη των ωκεανών θα ανέβαινε κατά περίπου 70 μέτρα.

Τώρα, θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε το μοντέλο; Μια επιλογή θα ήταν να λάβουμε υπόψη ότι δεν θα συσσωρευόταν όλο το νερό πάνω από τον υπάρχοντα ωκεανό, αλλά ότι ένα μέρος του θα απλωνόταν σε κάποιο τμήμα γης χαμηλού υψομέτρου, πλημμυρίζοντάς το.

Ερώτηση: Υποθέστε ότι περίπου το 10% της ξηράς θα πλημμυρίζε και ότι το μέσο υψόμετρο αυτής της πλημμυρισμένης περιοχής είναι 10 m. Πόσο θα ανέβαινε ο ωκεανός σε αυτή την περίπτωση; Αυτοί οι δύο αριθμοί είναι απλώς μια εικασία, αλλάξτε τους για να δείτε αν το αποτέλεσμα αλλάζει σημαντικά.

Απάντηση:

Η επιφάνεια της ξηράς αποτελεί το 30% της επιφάνειας της Γης.

$$510 \text{ εκατ. km}^2 \times 0,3 = 153 \text{ εκατ. km}^2$$

Τώρα έχουμε το 10% της γης πλημμυρισμένο, δηλαδή,

$$153 \text{ M km}^2 \times 0,1 = 15,3 \text{ M km}^2$$

Δεδομένου ότι αυτή η πλημμυρισμένη γη έχει μέσο υψόμετρο 10 m, αυτό σημαίνει ότι το μέσο ύψος του νερού πάνω από αυτήν θα είναι $h = 0,01 \text{ km}$. Εδώ το σχήμα της πλημμυρισμένης γης δεν έχει σημασία, αρκεί να γνωρίζουμε ότι το μέσο ύψος είναι 10 m.

Τώρα, ο όγκος του νέου νερού υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Όγκος} = \text{Περιοχή ωκεανού} \times h + \text{Περιοχή πλημμυρισμένου} \times (h - 0,01 \text{ km})$$

Ο όγκος του νέου νερού και το εμβαδόν των ωκεανών είναι τα ίδια με το προηγούμενο παράδειγμα. Η επίλυση για το h δίνει

$$h = 68 \text{ m}$$

Συνεπώς, υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη: ένα 10% της ξηράς είναι μόνο το 3% της επιφάνειας της Γης.

Μπορούμε να παίξουμε με τις δύο τιμές ως παραμέτρους. Η ακραία περίπτωση είναι αν ολόκληρη η γη είχε υψόμετρο μηδέν, η άνοδος θα ήταν και πάλι 49,4 μέτρα, άρα πολύ υψηλή.

Η αναφορά [2] δίνει την απάντηση μιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά 73,32 μέτρα, πιθανώς χρησιμοποιώντας πιο ακριβή δεδομένα από τη δική μας γρήγορη εκτίμηση. Ο τελικός αριθμός αυτής της μελέτης είναι μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 80,32 m, αν συμπεριλάβουμε τη Γροιλανδία και όλους τους άλλους παγετώνες στη Γη.

Όπως επισημάναμε νωρίτερα, αυτό είναι ένα απίθανο καταστροφικό σενάριο. Οι προβλέψεις κάνουν λόγο για αύξηση 30 εκατοστών μέχρι το τέλος του αιώνα. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τη στάθμη της θάλασσας είναι η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Αυτό όχι μόνο ανεβάζει τη στάθμη της θάλασσας, αλλά επιταχύνει επίσης το ρυθμό τήξης των πάγων.

Αναφορές:

Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις ακόλουθες πηγές για να εμπλουτίσετε τη συζήτηση με δεδομένα από τον πραγματικό κόσμο και διαδραστικές απεικονίσεις:

1. Παρουσίαση με επισκόπηση της τρέχουσας έρευνας σχετικά με το λιώσιμο των πάγων.
<https://imaginary.org/program/simulating-the-melting-of-ice-caps>
2. Πραγματικά δεδομένα από εμπειρογνώμονες, που παρουσιάζονται για το εκπαιδευτικό πλαίσιο.
<https://serc.carleton.edu/eslabs/cryosphere/6b.html>
3. Εφαρμογή χάρτη για να παρατηρήσετε ποια μέρη του κόσμου θα καλυφθούν από νερό μετά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας
<https://www.floodmap.net/>
4. Συνολικά το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε παράκτιες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, δηλαδή σε περιοχές με υψόμετρο μικρότερο από 10 μέτρα πάνω από την τρέχουσα μέση στάθμη της θάλασσας.
McGranahan, G., Balk, D., and Anderson, B.: The rising tide: Environ. Urban., 19, 17-37,
5. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>

2η Δραστηριότητα. Τάξη μεγέθους σε ερωτήσεις για τη Γη

Πώς μπορούμε να βρούμε απαντήσεις σε ερωτήματα μεγάλων μεγεθών όταν έχουμε λίγα δεδομένα; Μερικές φορές δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία για ένα συγκεκριμένο φαινόμενο: ίσως επειδή το πεδίο εφαρμογής είναι πολύ μεγάλο (για παράδειγμα ολόκληρος ο πλανήτης) ή πολύ μικρό (η πόλη σας, το σχολείο σας) και κανένα ίδρυμα δεν έχει συλλέξει τα δεδομένα αυτά. Μερικές φορές είναι αδύνατο να παραχθούν δεδομένα επειδή δεν μπορούμε να δώσουμε ακριβή μέτρηση (πόσα δέντρα υπάρχουν στον κόσμο;) ή επειδή είναι υποθετικό (πόσα δέντρα θα χρειάζονταν για να απορροφηθούν οι σημερινές εκπομπές CO₂;) Για τέτοιου είδους ερωτήσεις, αναζητούμε μόνο μια χονδροειδή εκτίμηση της τάξης μεγέθους της απάντησης. Τέτοιες εκτιμήσεις αναφέρονται συχνά ως [εκτιμήσεις Fermi](#).

Υπάρχουν πολλά τεχνάσματα που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να δώσουμε απαντήσεις σε αυτές τις ερωτήσεις. Σε αυτή τη δραστηριότητα θα εξερευνήσουμε αυτή την τεχνική και θα την εφαρμόσουμε σε ορισμένα περιβαλλοντικά ερωτήματα που σχετίζονται με τον πλανήτη Γη.

1. Ερωτήσεις προθέρμανσης.

Ζητήστε από τους μαθητές σας να βρουν μια απάντηση στις ακόλουθες ερωτήσεις:

- A. Πόσα τρόφιμα καταναλώνονται καθημερινά σε όλο τον κόσμο;
- B. Πόσα σκουπίδια παράγονται ανά ημέρα σε όλο τον κόσμο;
- Γ. Πόσα λίτρα νερού χρειάζονται ανά ημέρα σε όλο τον κόσμο μόνο για ατομική κατανάλωση (εξαιρουμένων των βιομηχανιών και της γεωργίας);

Για το καθένα από αυτά, πρέπει να βρουν μια εκτίμηση από τη δική τους εμπειρία (πόσα τρόφιμα τρώω κάθε μέρα, πόσα σκουπίδια παράγω...), και μπορείτε να τους δώσετε στατιστικά στοιχεία όπως ο παγκόσμιος πληθυσμός (7 δισεκατομμύρια άνθρωποι). Κάντε τους ερωτήσεις όπως η μεταβλητότητα αυτών των αριθμών. Είναι η ίδια κατανάλωση τροφίμων ανά άτομο σε όλο τον κόσμο; Τι γίνεται με τα σκουπίδια; Τι γίνεται με τα σκουπίδια που παράγονται από τη βιομηχανία, είναι περισσότερα ή λιγότερα από αυτά των ατόμων; Μπορείτε να βρείτε κάποιες "επίσημες" απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα ψάχνοντας στο Διαδίκτυο. Ανοίξτε έναν γύρο σχολίων αφού δώσετε τις απαντήσεις.

2. Ερωτήσεις ελλιπής πληροφορίας

Ζητήστε από τους μαθητές σας αυτό το νέο είδος ερωτήσεων όπου θα πρέπει να αντλήσουν δεδομένα από έμμεσες πηγές και να κάνουν απλά μοντέλα και εκτιμήσεις:

- A. Πόσα λίτρα νερού χρησιμοποιεί το σχολείο (ή το κτίριο στο οποίο βρίσκεστε τώρα) κάθε εβδομάδα;
- B. Πόσα φύλλα γρασιδιού υπάρχουν σε ένα γήπεδο ποδοσφαίρου (ή σε οποιοδήποτε άλλο αθλητικό γήπεδο ή κήπο);
- Γ. Πόσο CO₂ εκπνέουν όλοι οι μαθητές/συμμετέχοντες την ημέρα;

3. Δυσκολότερες ερωτήσεις.

Θέστε το ακόλουθο ερώτημα:

Ποιος πιστεύετε ότι είναι ο όγκος όλων των πλαστικών μπουκαλιών που καταλήγουν στον ωκεανό κάθε μέρα;

Αφήστε τους μαθητές σας να μαντέψουν (και βοηθήστε τους) με τα βήματα για την αποσύνθεση του προβλήματος και την πραγματοποίηση εκτιμήσεων. Ορισμένες ερωτήσεις που μπορεί να προκύψουν:

1. Ποια είναι η σωστή τάξη μεγέθους; Kg; Τόνοι; Εκατομμύρια τόνοι; Δισεκατομμύρια τόνοι;
2. Πόσο πλαστικό παράγει η ανθρωπότητα;
3. Πόσο από αυτό καταλήγει στον ωκεανό;
4. Μπορείτε να υποθέσετε (μπορείτε;) ότι το πλαστικό που κακοποιείται, δεν ανακυκλώνεται, προέρχεται μόνο από την προσωπική κατανάλωση, όχι από τη βιομηχανία, οπότε μπορείτε να προσπαθήσετε να υπολογίσετε πόσο πλαστικό καταναλώνει ένα άτομο και να το πολλαπλασιάσετε με κάποιον αριθμό πληθυσμού.
5. Πόσοι άνθρωποι ζουν σε παράκτιες περιοχές (χώρες με ακτές); Μπορείτε να υποθέσετε ότι μόνο οι χώρες με ακτές ρυπαίνουν τους ωκεανούς (μπορείτε;).

Για κάθε βήμα ή κομμάτι της αποσύνθεσης μπορείτε να προσπαθήσετε να κάνετε μια εικασία ή να προσπαθήσετε να το βρείτε στο διαδίκτυο.

Κρατήστε τη συζήτηση ανοιχτή. Ο στόχος είναι να τους κάνετε να συζητήσουν τα μεγέθη και τις σχέσεις τους. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, ζητήστε τους να καταλήξουν σε έναν κοινό αριθμό.

Τέλος, χρησιμοποιήστε το άρθρο στην παραπομπή [4] για να δώσετε μια απάντηση από ειδικούς: μεταξύ 4,8 και 12,7 εκατομμυρίων τόνων πλαστικών απορριμμάτων που ρίχτηκαν στον ωκεανό το 2010, με την προοπτική να αυξηθούν κατά μία τάξη μεγέθους (πολλαπλασιάζοντας με το 10) μέχρι το 2025, αν δεν ληφθούν μέτρα.

Ανοίξτε έναν τελικό γύρο συζήτησης σχετικά με τις επιπτώσεις της ρύπανσης των ωκεανών.

4. Έξτρα δουλειά

Προσφέρετε στους μαθητές σας ως εργασία μπόνους ένα τελικό ερώτημα Φέρμι, το οποίο μπορούν να διερευνήσουν μόνοι τους (για παράδειγμα στο σπίτι, με φίλους ή την οικογένεια) και το οποίο δεν μπορεί να βρεθεί στο Διαδίκτυο. Για παράδειγμα, χρησιμοποιήστε τοπικά θέματα, όπως: Ποιο είναι το ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα αυτής της πόλης; Δηλαδή, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα περισσότερο ή λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από αυτό που απορροφάται από τα δέντρα;

Πηγές

1. Ένα σκίτσο που εξηγεί πρακτικά πώς να κάνετε μια εκτίμηση Φέρμι
<https://what-if.xkcd.com/84/>
2. Άρθρο που δείχνει μερικές συμβουλές για το πώς να κάνετε καλές εκτιμήσεις Fermi:
<https://www.lesswrong.com/posts/PsEppdvgRisz5xAHG/fermi-estimates>
Μπορείτε να εξασκηθείτε στην επίλυση αυτών και άλλων ερωτήσεων και να βοηθήσετε τους μαθητές σας με κάποιες συμβουλές. Για παράδειγμα, το άρθρο εξηγεί πώς να κάνετε μια εκτίμηση ενός μεγέθους από δύο όρια χρησιμοποιώντας τον γεωμετρικό μέσο ή τον

προσεγγιστικό γεωμετρικό μέσο. Αυτό θα προσθέσει επιπλέον μαθηματικό περιεχόμενο στη δραστηριότητα.

3. Παραδείγματα ερωτήσεων Φέρμι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχολείο (γενικά δεν σχετίζονται με τις γεωεπιστήμες):
<https://www.teachertoolkit.co.uk/2017/04/28/fermi-questions/>
4. Ερευνητικό άρθρο που μελετά πόσο πλαστικό υπάρχει στον ωκεανό:
Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. L. (2015). *Plastic waste inputs from land into the ocean*. *Science*, 347(6223), 768–771.
doi:10.1126/science.1260352

Δημιουργήστε και μοιραστείτε!

Μοιραστείτε την ερώτησή σας, τη διαδικασία σκέψης και τις συζητήσεις σας και τα αποτελέσματά σας χρησιμοποιώντας τα hashtags **#idm314earth** και **#idm314**.

Επιπλέον πηγές:

1. Εκπαιδευτικοί πόροι για την επιστήμη του κλίματος (έργο TROP-ICSU):
<https://climatescienceteaching.org>
2. Διαδραστικός προσομοιωτής κλίματος:
<https://en-roads.climateinteractive.org/scenario.html>
3. Blog για τα Μαθηματικά του πλανήτη Γη:
<http://mpe.dimacs.rutgers.edu/blog/> (en)
4. Περισσότερα προβλήματα Φέρμι για το σχολείο:
<https://www.teachertoolkit.co.uk/2017/04/28/fermi-questions/>
5. Πόροι για τον τρόπο διεξαγωγής συζητήσεων με ερωτήσεις στο σχολείο
 - a. [Η σωστή ερώτηση τη σωστή στιγμή](#)
 - b. [Μαθηματική εκπαίδευση με βάση τη διερεύνηση](#) (from the EU project FIBONACCI)

© 2020 IMAGINARY gGmbH

Το έργο αυτό διατίθεται με άδεια [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).