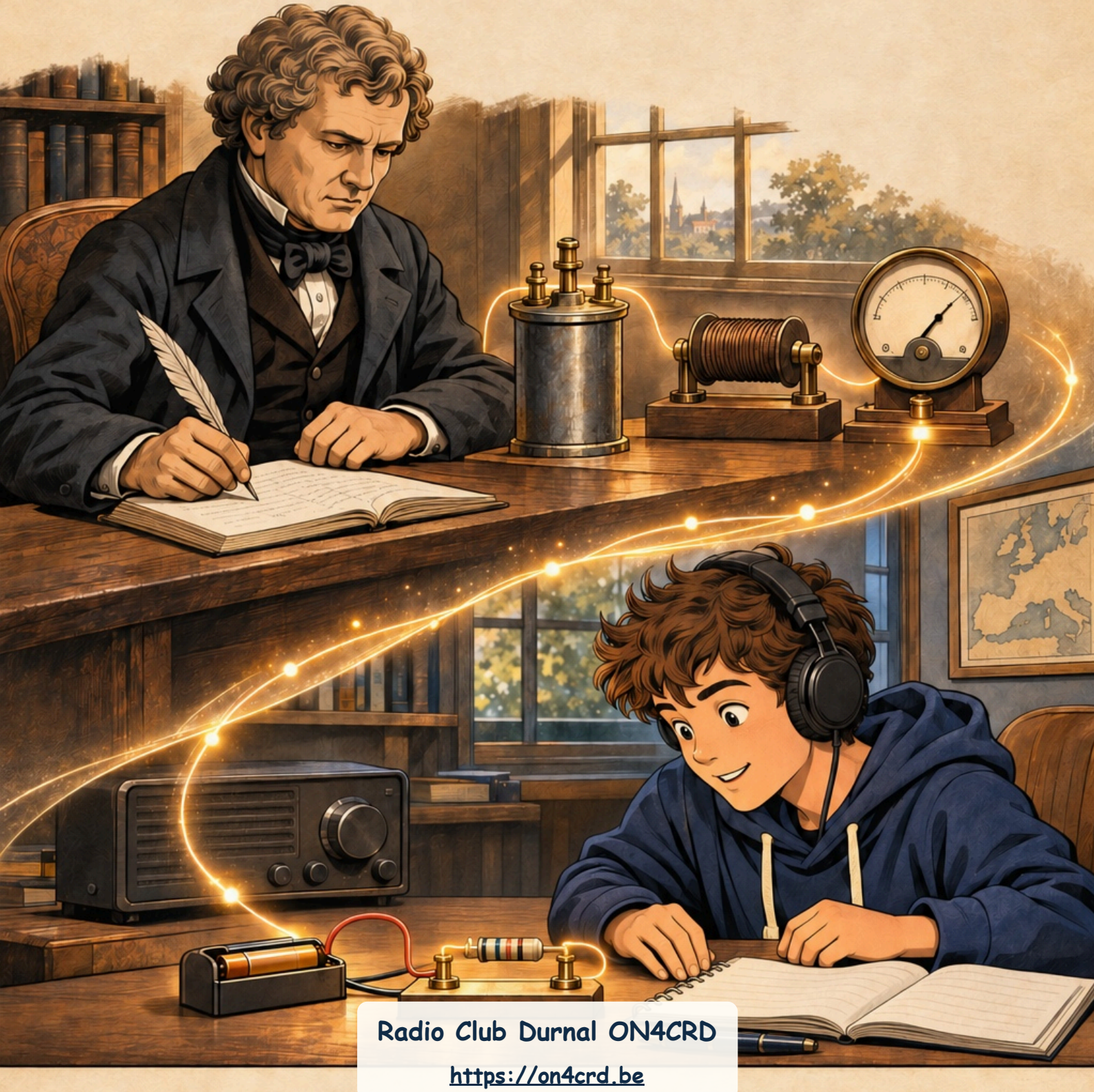
ON4CRD

Τόμος 04

Η ανακάλυψη του νόμου του Ohm



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Νομικές ειδοποιήσεις

Τόμος 04 · Η ανακάλυψη του νόμου του Ohm

Εκδότης ιστότοπου : Radio Club Durnal ON4CRD

Υπεύθυνος έκδοσης : Επιτροπή του Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Νομικές ειδοποιήσεις

Διανοητική ιδιοκτησία

Κείμενα, εικόνες, έγγραφα, λογότυπα και υλικά που δημοσιεύονται στον ιστότοπο παραμένουν ιδιοκτησία των αντίστοιχων δημιουργών τους ή του συλλόγου. Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή επαναχρησιμοποίηση πρέπει να σέβεται την πηγή, τα ισχύοντα δικαιώματα και οποιαδήποτε άδεια του συγγραφέα.

Ευθύνη

Ο σύλλογος εργάζεται για τη δημοσίευση χρήσιμων και επαληθευμένων πληροφοριών, αλλά δεν εγγυάται την απουσία σφαλμάτων, παραλείψεων ή διακοπών. Οι τεχνικές ή κανονιστικές πληροφορίες πρέπει να ελέγχονται από επίσημες πηγές όταν υποστηρίζουν μια απόφαση.

Εικονογραφήσεις δημιουργημένες με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης.

Μια ερώτηση στον σύλλογο



Μετά το πρώτο QSO, Lucas επιστρέφει στο εργαστήριο.



Στο τραπέζι περιμένουν μια μικρή αντίσταση και ένα τετράδιο.



Πώς βοηθά τόσους υπολογισμούς ένα τόσο μικρό εξάρτημα;



Henri προτείνει έρευνα και μετά πείραμα.



Μαζί θα ετοιμάσουν επίδειξη για τους επισκέπτες.

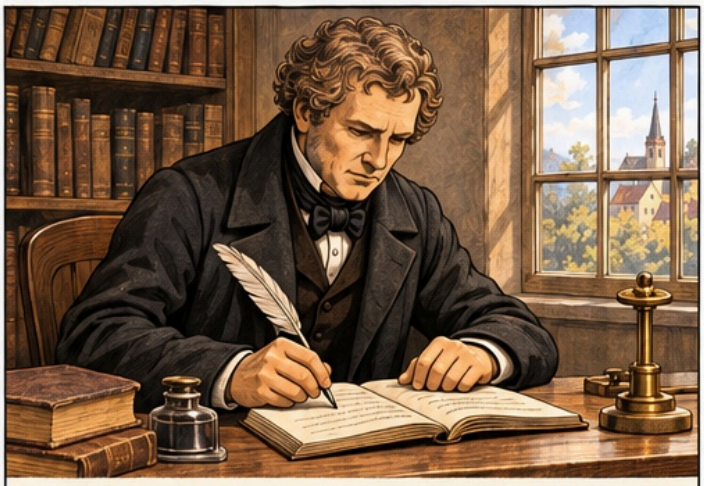


Πρώτο στοιχείο: Γκέοργκ Σίμον Ωμ.

Το πρόσωπο πίσω από το όνομα



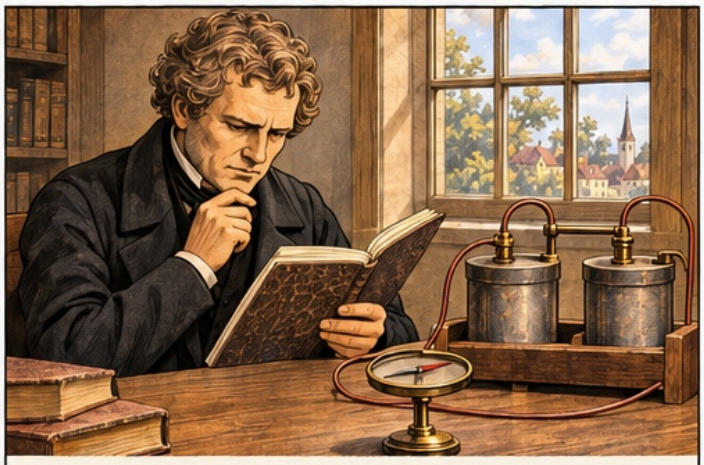
Στο βιβλίο εμφανίζεται ένας άνδρας με σγουρά μαλλιά.



Ο Γκέοργκ Σίμον Ωμ διδάσκει και μελετά τον ηλεκτρισμό.



Η εποχή του γνωρίζει ήδη μπαταρίες και αγωγούς.



Η σύνδεση παρατηρήσεων σε νόμο απαιτεί υπομονή.



Ο νεαρός φαντάζεται τη σιωπή ενός παλιού εργαστηρίου.

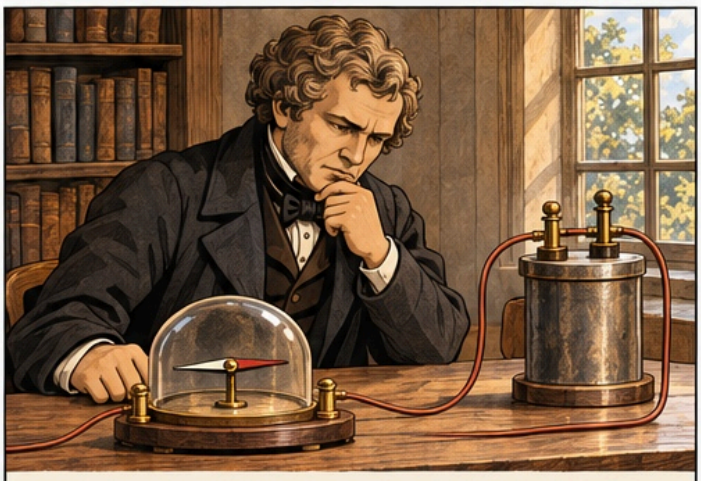


Η ιστορία τούς οδηγεί στις έρευνες του Ωμ.

Πριν από τους ασυρμάτους



Βρισκόμαστε στη δεκαετία του 1820, πολύ πριν από τον ραδιοερασιτεχνισμό.



Ο Ωμ μελετά τη ροή του ηλεκτρισμού.



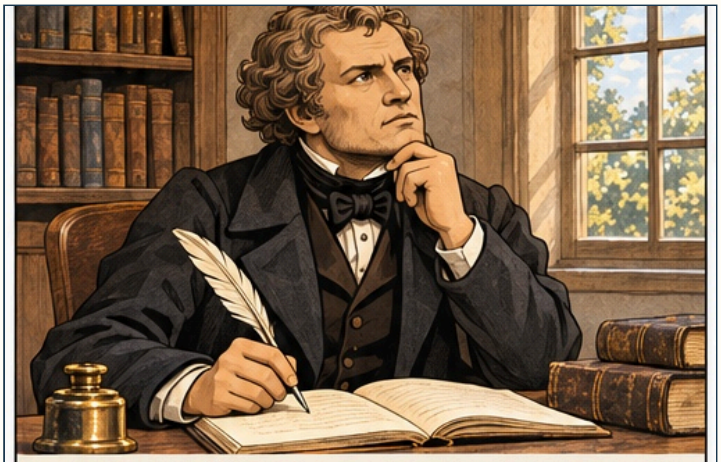
Δεν ετοιμάζει σύγχρονο πομπό ούτε μακρινή επαφή.



Στον πάγκο του πειραματίζεται με αγωγούς.

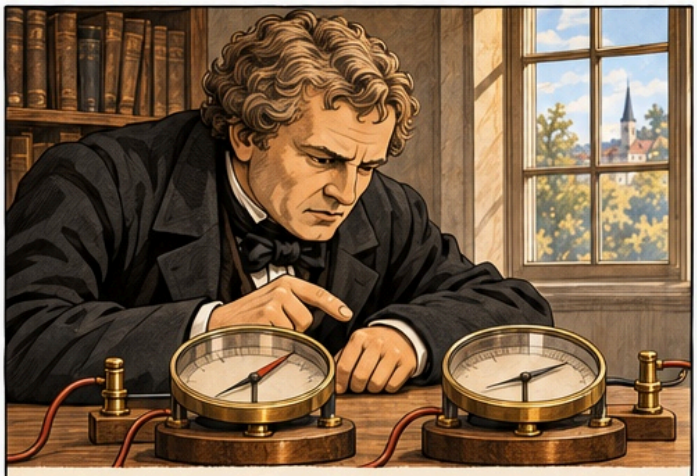


Αναζητά μια σχέση που μπορεί να ελεγχθεί.

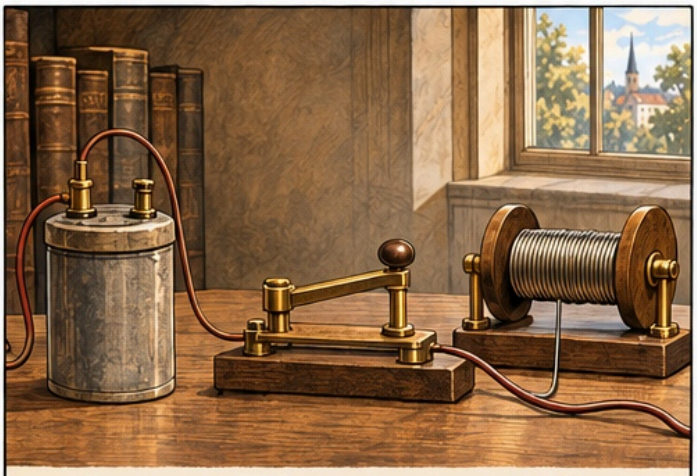


Μια ακριβής ερώτηση αξίζει περισσότερο από βιαστική εξήγηση.

Όταν τα αποτελέσματα διαφέρουν



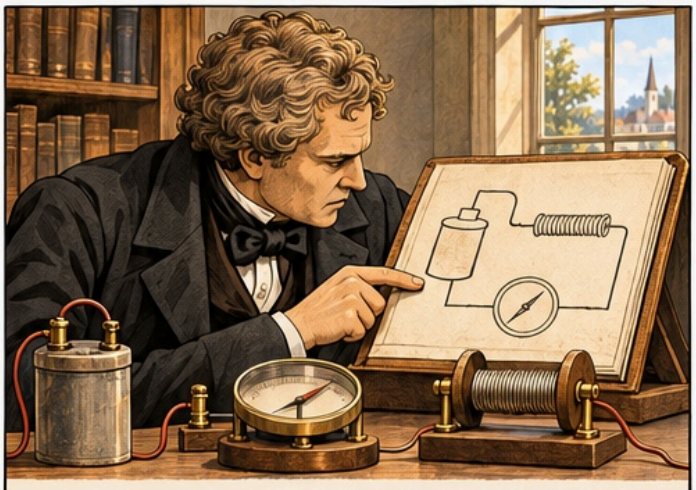
Ένα πείραμα δεν δίνει πάντα ίδιο αποτέλεσμα.



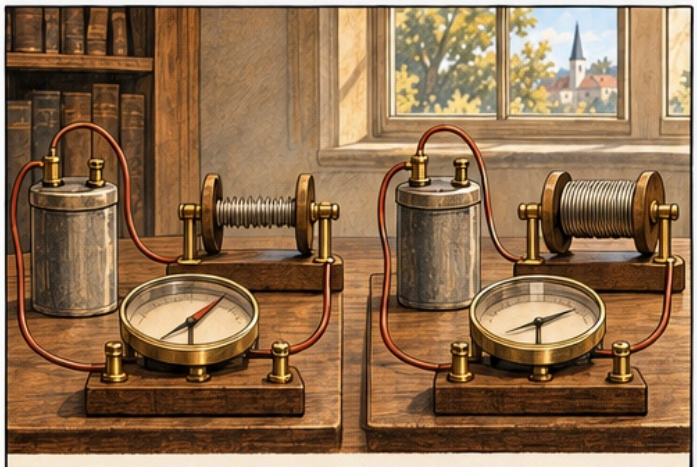
Μπορεί να αλλάζουν και η πηγή ή οι επαφές.



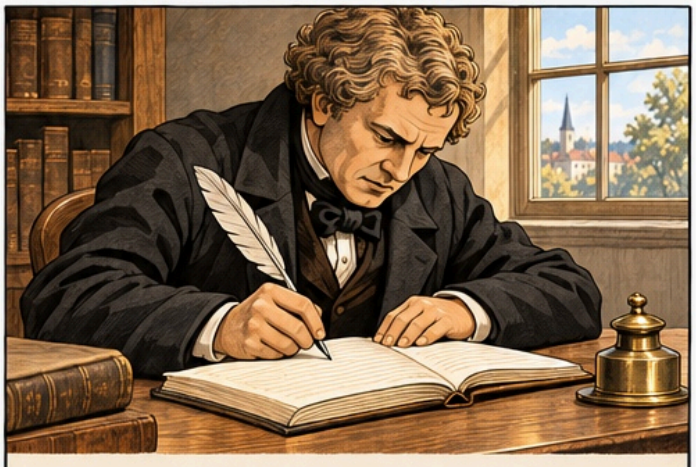
Το σύρμα μόνο του δεν εξηγεί όλες τις διαφορές.



Ο Ωμ ξαναελέγχει τις συνθήκες παρατήρησης.



Ξεχωρίζει όσα αλλάζουν από όσα πρέπει να μένουν σταθερά.



Η ανακάλυψη αρχίζει με προσεκτικό βλέμμα.

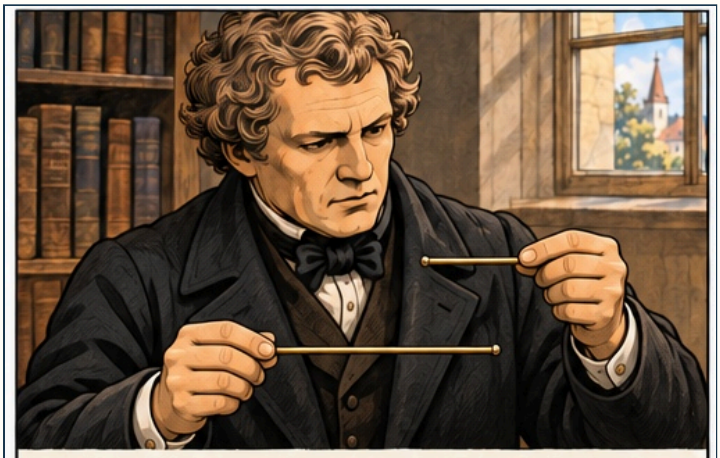
Μία ερώτηση κάθε φορά



Για σύγκριση πρέπει να ξέρουμε τι αλλάξαμε.



Αλλάζοντας τα πάντα, θα χάναμε την απάντηση.



Οι αγωγοί συγκρίνονται με επιλεγμένο κριτήριο.



Οι άλλες συνθήκες μένουν όσο γίνεται όμοιες.

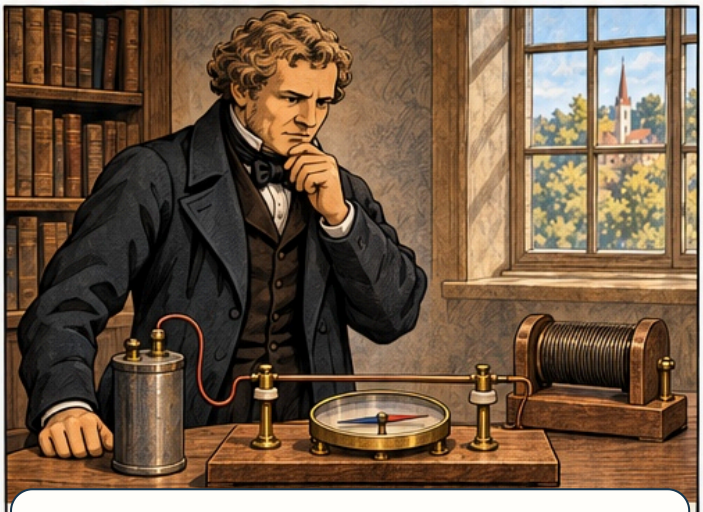


Οι σημειώσεις διατηρούν κάθε δοκιμή.

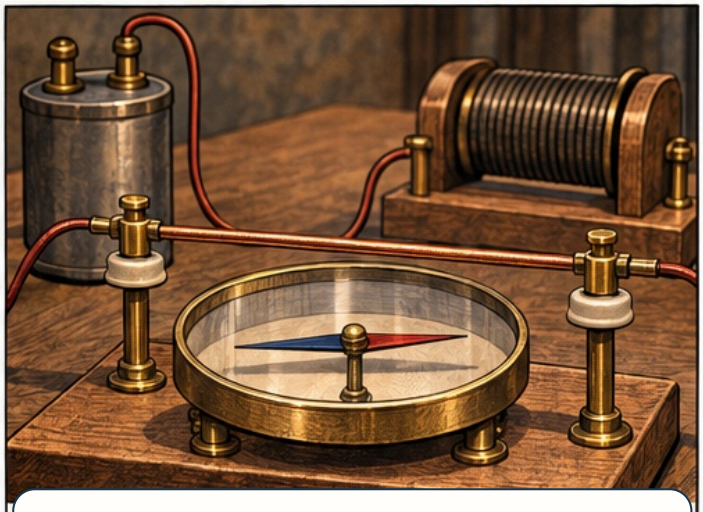


Ο νεαρός θα εφαρμόσει αργότερα αυτή τη μέθοδο.

Όργανα της εποχής



Τα όργανα του Ωμ διαφέρουν από τα πολύμετρά μας.



Μια μαγνητική βελόνα μπορεί να δείξει την επίδραση του ρεύματος.



Η απόκλισή της συγκρίνεται προσεκτικά.



Για την ερμηνεία χρειάζεται γνώση του οργάνου.



Το βιβλίο περιγράφει έρευνα, όχι οδηγίες οικιακού πειράματος.

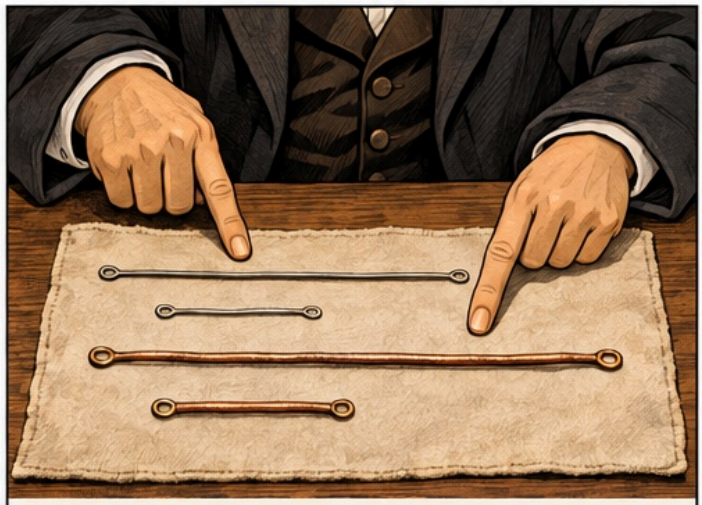


Ο σύλλογος θα χρησιμοποιήσει κατάλληλο σύγχρονο εκπαιδευτικό εξοπλισμό.

Η αντίσταση του αγωγού



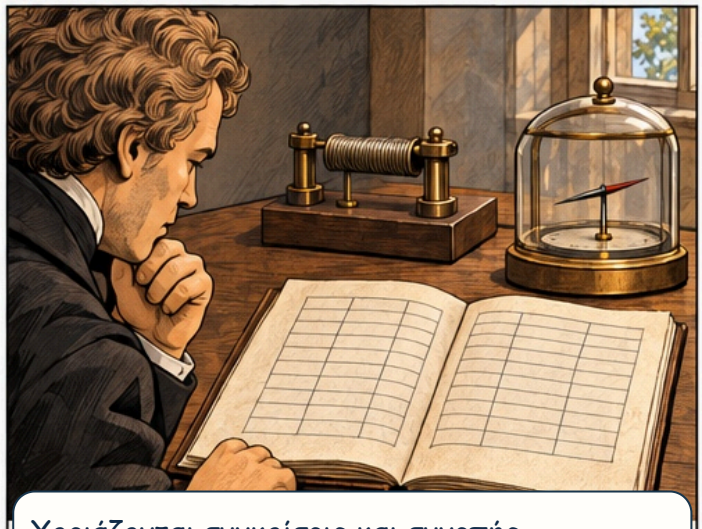
Το υλικό και το σχήμα του αγωγού επηρεάζουν το ρεύμα.



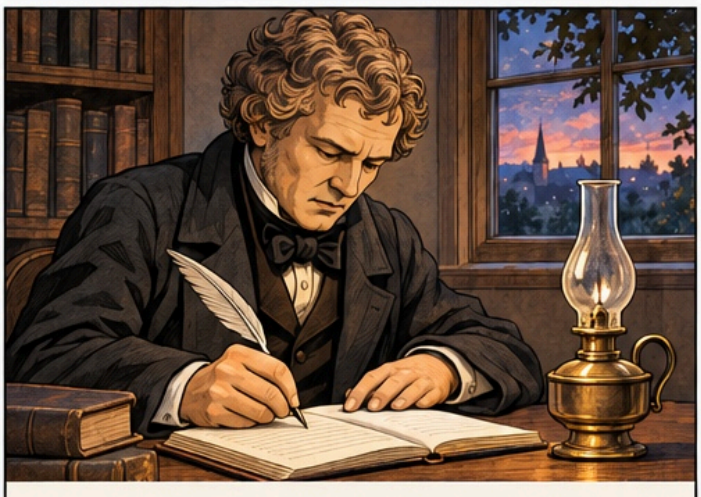
Στο ίδιο υλικό μετρούν το μήκος και η διατομή.



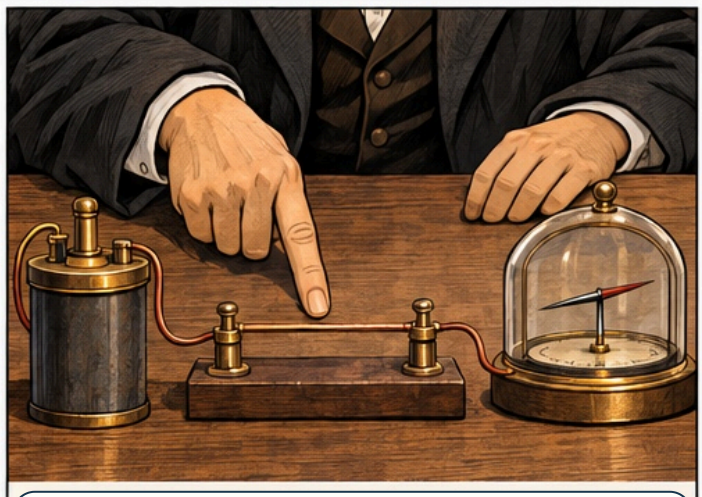
Μία παρατήρηση δεν αρκεί για έναν νόμο.



Χρειάζονται συγκρίσεις και συνεπής περιγραφή.



Ο Ωμ συνδυάζει μετρήσεις και σκέψη.

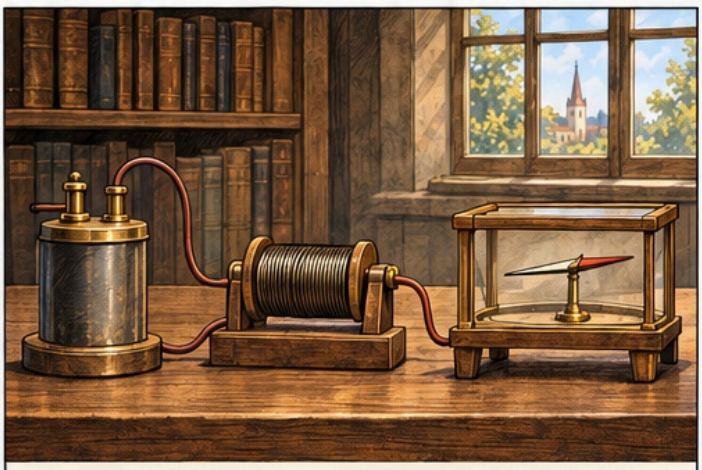


Η αντίσταση βρίσκει θέση ανάμεσα στα ηλεκτρικά μεγέθη.

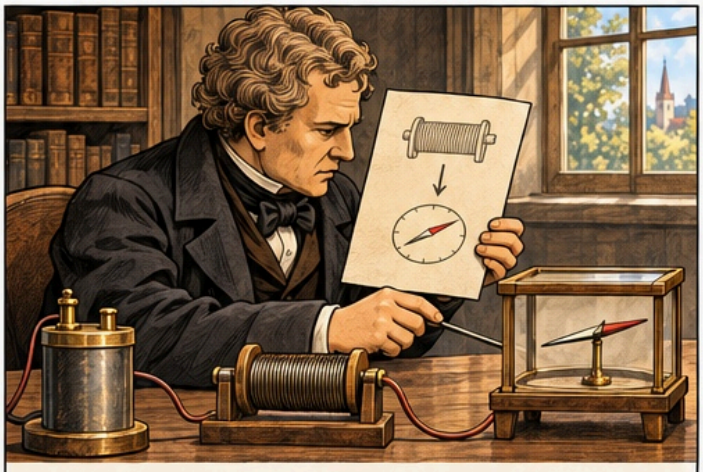
Από παρατηρήσεις σε σχέση



Ο επιστήμονας δεν συλλέγει απλώς αριθμούς.



Συνδέει την ηλεκτρική αιτία, το ρεύμα και τον αγωγό.



Μια χρήσιμη σχέση προβλέπει επίσης αποτελέσματα.



Πρέπει να καθοριστούν οι συνθήκες εφαρμογής.



Ο νεαρός γράφει: παρατήρηση και πρόβλεψη.

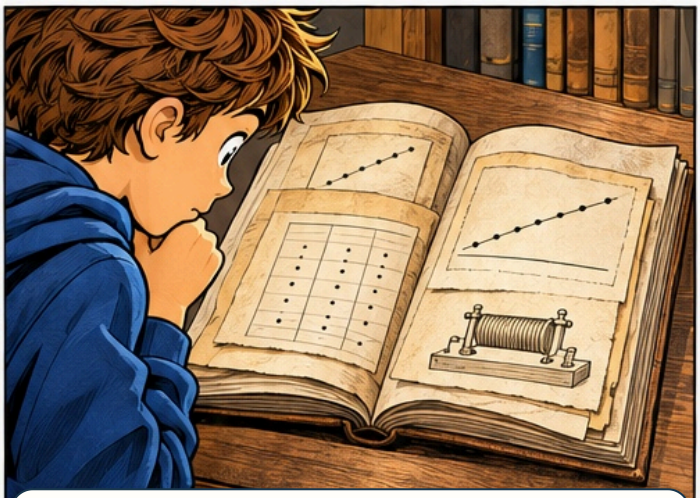


Η έρευνα αρχίζει να γίνεται μέθοδος.

Το τετράδιο συνδέει



Οι παλιές σελίδες έχουν δοκιμές, αμφιβολίες και διορθώσεις.



Μόνος ο τύπος θα έκρυβε τη διαδρομή της έρευνας.



Ο νεαρός ετοιμάζει τετράδιο δικών του παρατηρήσεων.



Θα χωρίζει υπολογισμένες και μετρημένες τιμές.

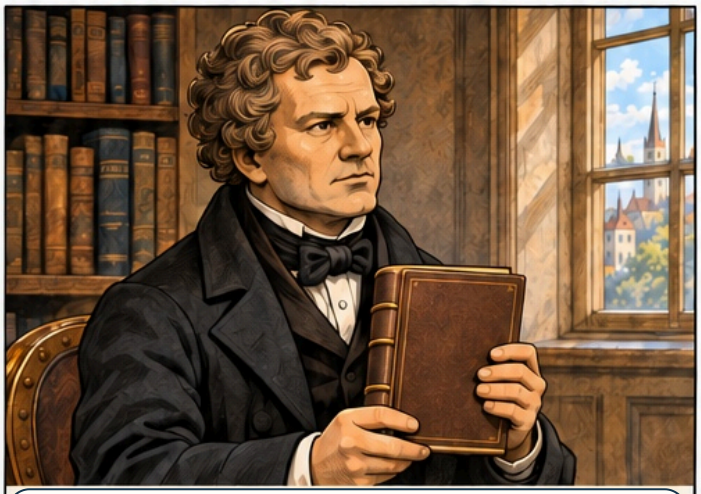


Θα σημειώνει κύκλωμα και μονάδες.



Η κατανόηση βοηθά περισσότερο από την αποστήθιση.

Ένα βιβλίο το 1827



Το 1827 ο Ωμ δημοσιεύει μαθηματικό έργο για το γαλβανικό κύκλωμα.



Το βιβλίο αναπτύσσει τις έρευνές του.



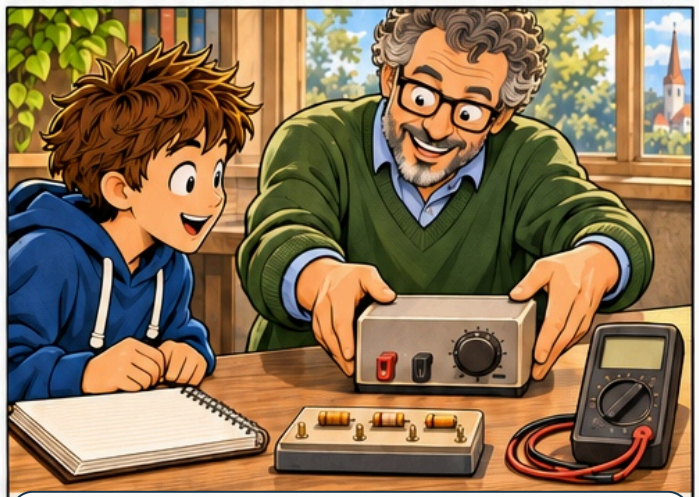
Άλλοι μπορούν να εξετάσουν τις προτεινόμενες σχέσεις.



Το όνομα Ωμ θα δοθεί και στη μονάδα αντίστασης.



Ο νεαρός βλέπει διαφορετικά το μικρό εξάρτημα.

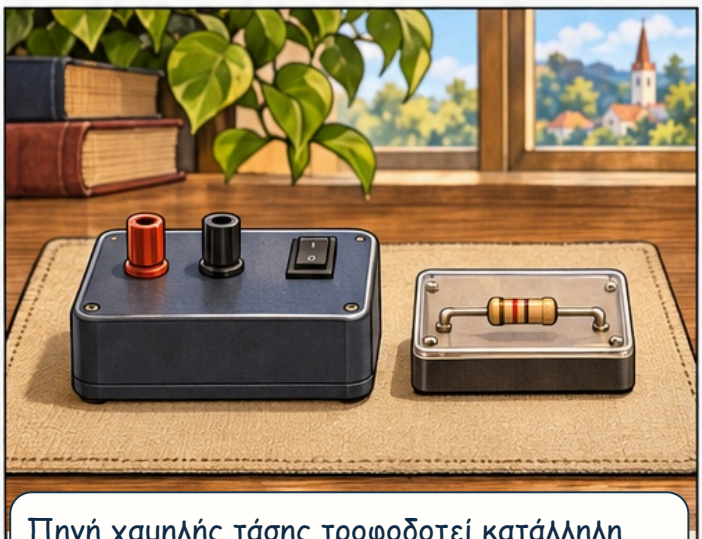


Τώρα θα συνδέσει ο ίδιος ιδέα και παρατηρήσεις.

Το πείραμα του συλλόγου



Επιλέγουν απλό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος.



Πηγή χαμηλής τάσης τροφοδοτεί κατάλληλη αντίσταση.



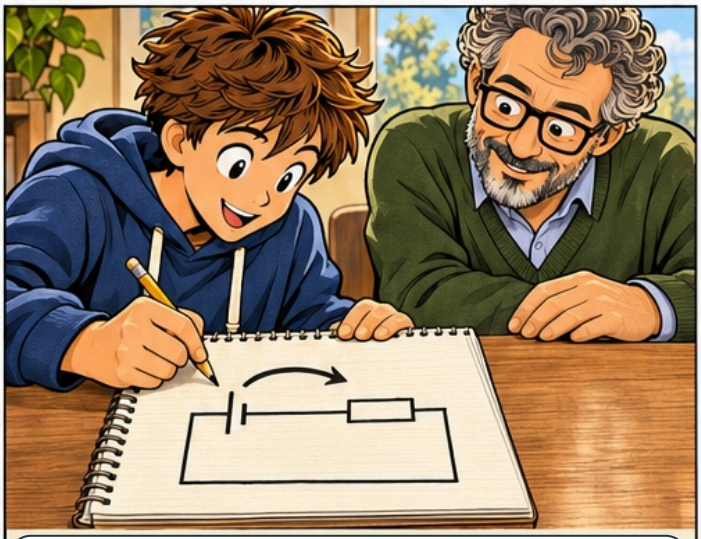
Το εκπαιδευτικό σύστημα περιορίζει το ρεύμα.



Δεν ανοίγουν ούτε τροποποιούν συσκευές δικτύου.



Ο καθοδηγητής ελέγχει εξοπλισμό, οδηγίες και όρια χρήσης.



Τι γίνεται στο ρεύμα όταν αλλάζει η τάση;

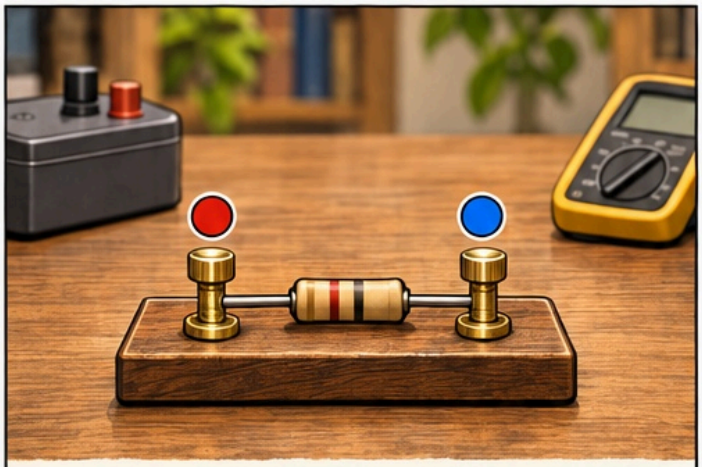
Τάση μεταξύ δύο σημείων



Η τάση ορίζεται μεταξύ δύο σημείων.



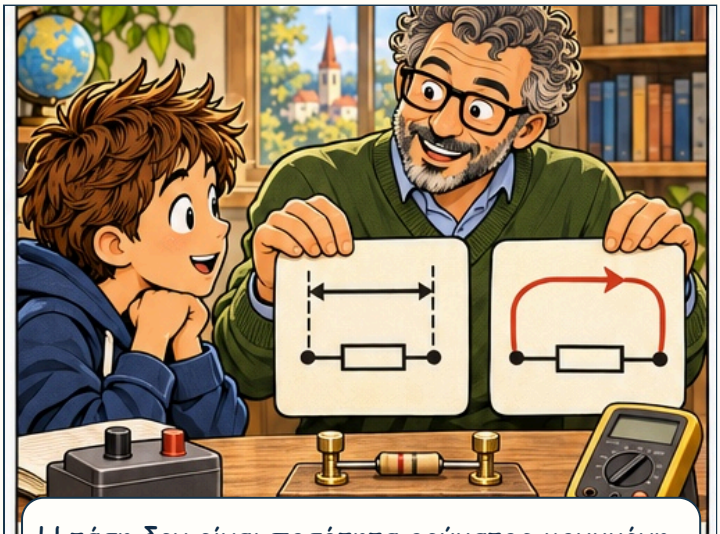
Τη συμβολίζουν U, σε βολτ V.



Άρα πρέπει να αναφέρονται τα δύο σημεία.



Εδώ εξετάζουν τους δύο ακροδέκτες της αντίστασης.



Η τάση δεν είναι ποσότητα ρεύματος κρυμμένη στο σύρμα.



Ο νεαρός σχεδιάζει τα δύο σημεία.

Ρεύμα στον βρόχο



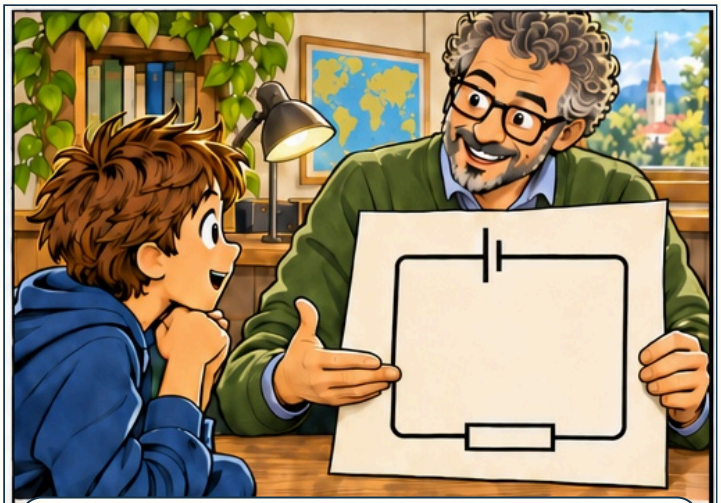
Το ρεύμα συμβολίζεται I και μετριέται σε αμπέρ A.



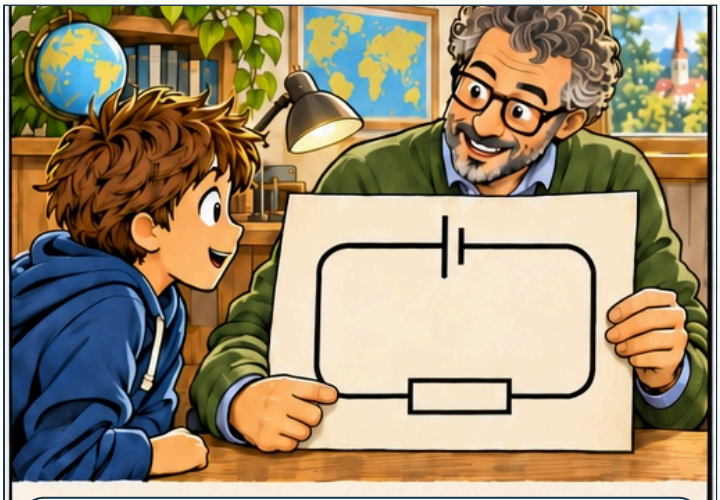
Σταθερό ρεύμα απαιτεί εδώ κλειστό αγώγιμο βρόχο.



Σε ανοιχτό βρόχο δεν διαρρέει την αντίσταση ρεύμα.



Στον απλό βρόχο ίδιο ρεύμα διαρρέει όλα τα στοιχεία.



Η συμβατική φορά έξω από την πηγή είναι από το συν προς το πλην.

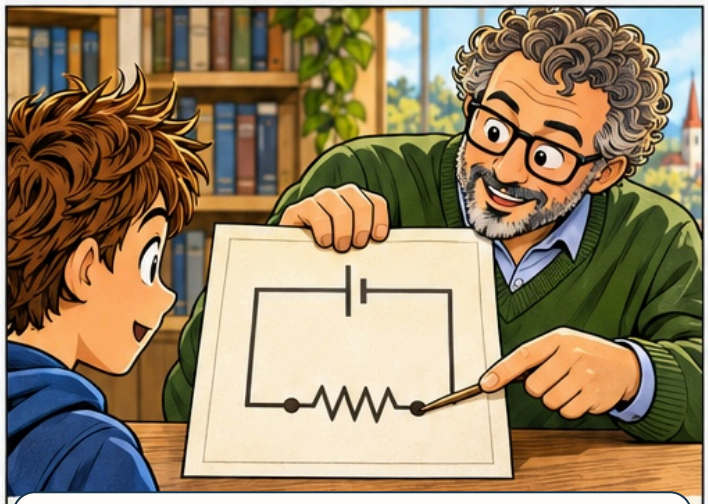


Ο νεαρός ακολουθεί το σχέδιο, χωρίς ακόμη συνδέσεις.

Ο ρόλος της αντίστασης



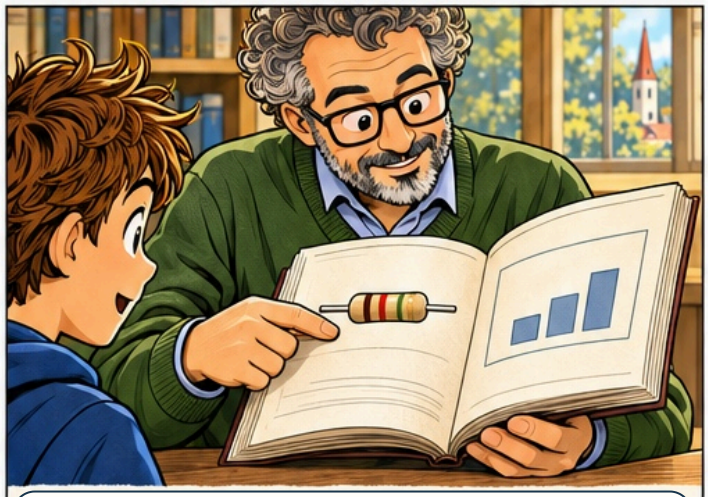
Η αντίσταση συμβολίζεται R, σε ωμ Ω.



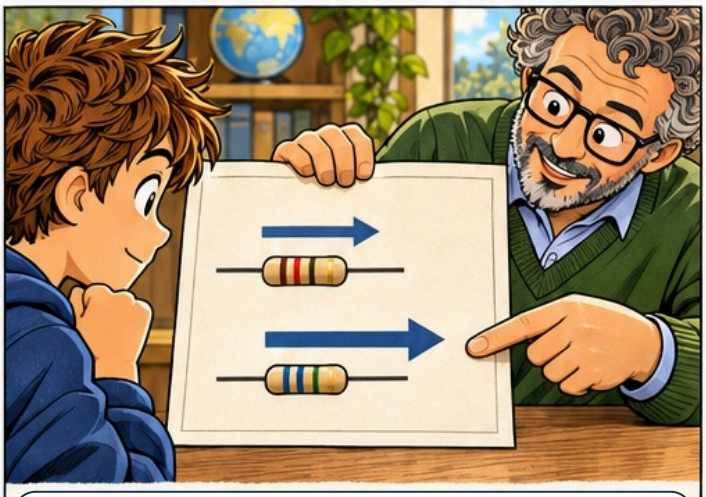
Συνδέει την τάση στους ακροδέκτες με το ρεύμα του εξαρτήματος.



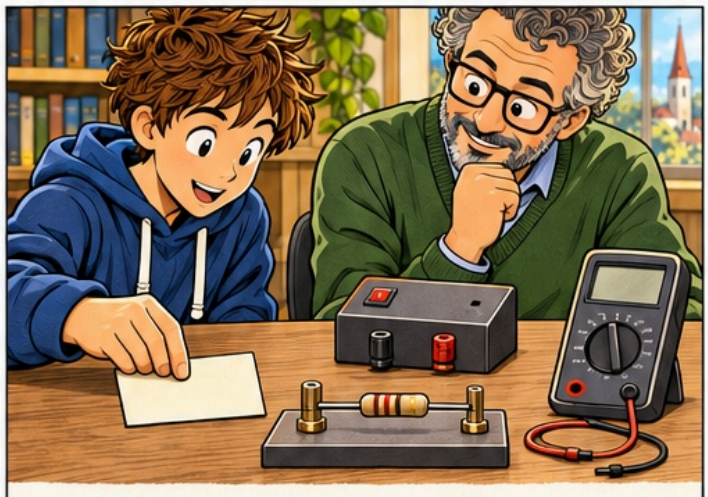
Για τη δοκιμή επιλέγουν ωμική αντίσταση.



Η θερμοκρασία πρέπει να μείνει αρκετά σταθερή.



Μεγαλύτερη αντίσταση δίνει μικρότερο ρεύμα στην ίδια τάση.

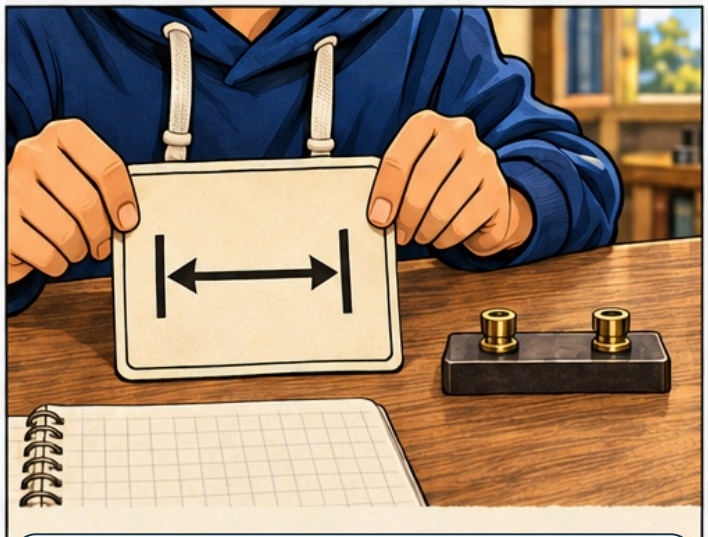


Αυτή η πρόβλεψη χρειάζεται ακόμη έλεγχο.

Τρία μεγέθη και μονάδες



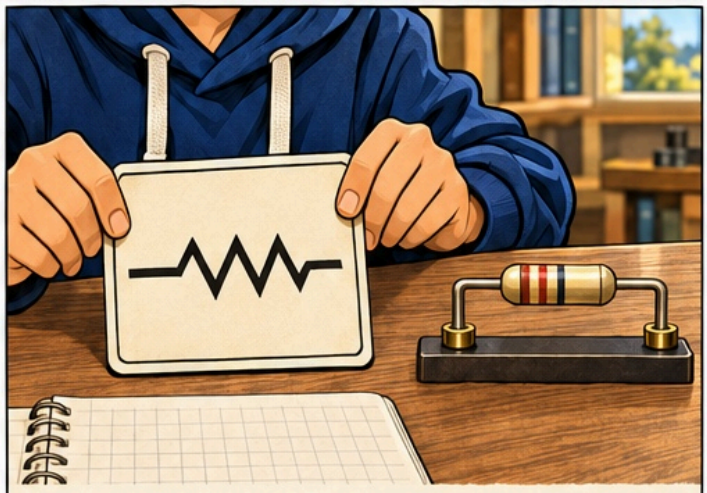
Το τετράδιο ξεχωρίζει U, I και R.



Η τάση U δίνεται σε βολτ V.



Το ρεύμα I δίνεται σε αμπέρ A.



Η αντίσταση R δίνεται σε ωμ Ω.



Το σύμβολο μεγέθους διαφέρει από το σύμβολο μονάδας.

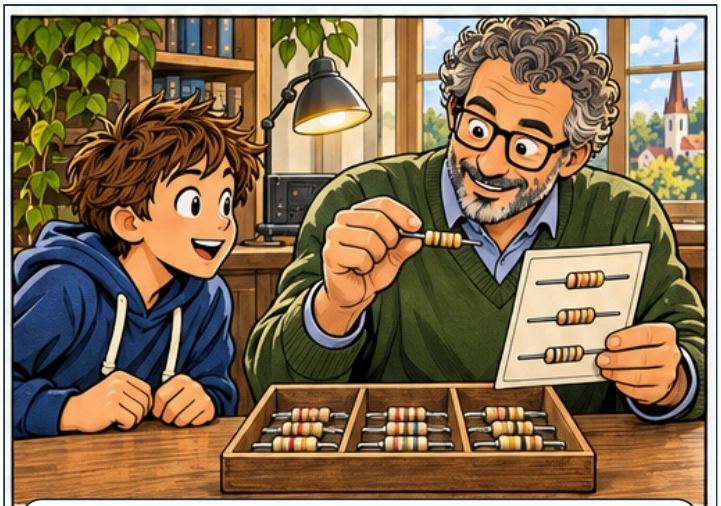


Κάθε αριθμός θα διατηρεί τη μονάδα του.

Προετοιμασία πριν από σύνδεση



Η πηγή μένει αποσυνδεδεμένη στην προετοιμασία.



Επιλέγουν αντίσταση 100 Ω, ονομαστικής ισχύος 1 W.



Η συνεχής τάση θα μείνει από 1,5 V έως 4,5 V.



Ο καθοδηγητής ελέγχει αν όλα τα στοιχεία αντέχουν τη δοκιμή.



Τα καλώδια είναι άθικτα, οι συνδέσεις σχεδιασμένες.



Ο νεαρός σχεδιάζει πρώτα το κύκλωμα.

Μέτρηση απομονωμένης αντίστασης



Πρώτα ελέγχουν την αντίσταση με πολύμετρο.



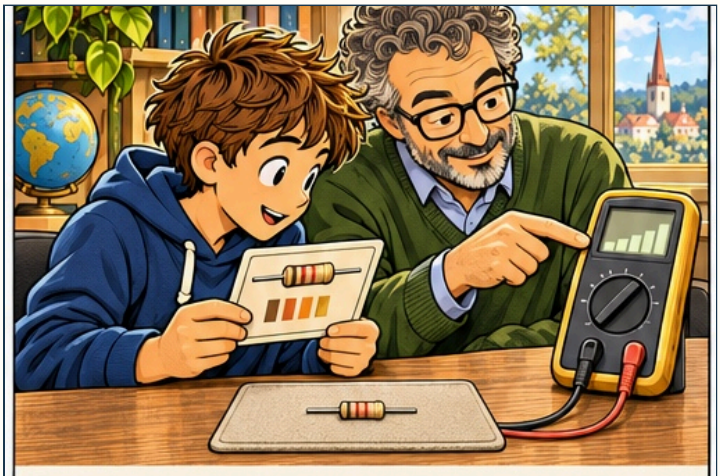
Το εξάρτημα είναι απομονωμένο και όλες οι πηγές αποσυνδεδεμένες.



Το ωμόμετρο ρυθμίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες.



Ένδειξη κοντά στα 100 Ω επιβεβαιώνει την επιλογή.



Η ανοχή εξηγεί την απόκλιση από την ονομαστική τιμή.

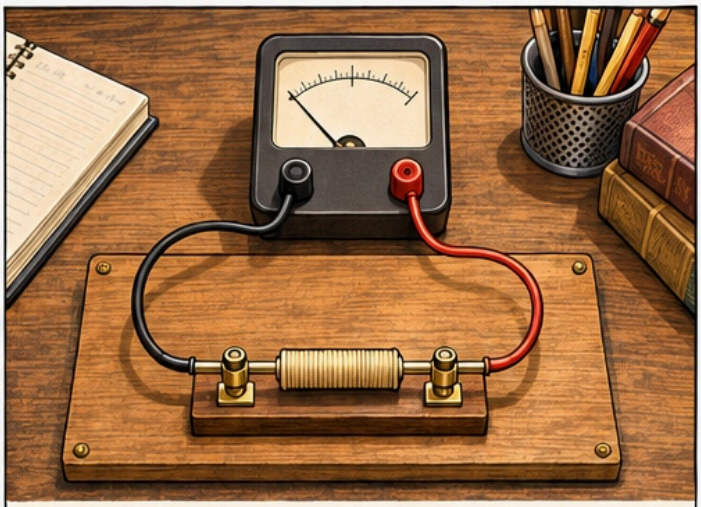


Καταγράφουν και μετά απομακρύνουν τους ακροδέκτες μέτρησης.

Η τάση μετριέται παράλληλα



Το βολτόμετρο συνδέεται στα δύο άκρα της αντίστασης.



Σχηματίζει παράλληλο κλάδο με αυτήν.



Η πηγή αποσυνδέεται κατά την τοποθέτηση καλωδίων.



Ο καθοδηγητής ελέγχει υποδοχές, συνεχή τάση και κλίμακα.



Μετά τροφοδοτούν το κύκλωμα και διαβάζουν τάση.



Σημειώνουν την τιμή πριν διακόψουν την τροφοδοσία.

Το ρεύμα μετριέται σε σειρά



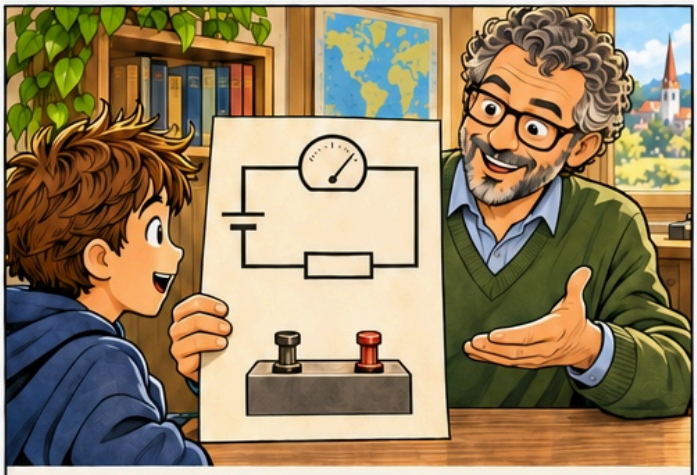
Η μέτρηση Ι χρειάζεται άλλη σύνδεση.



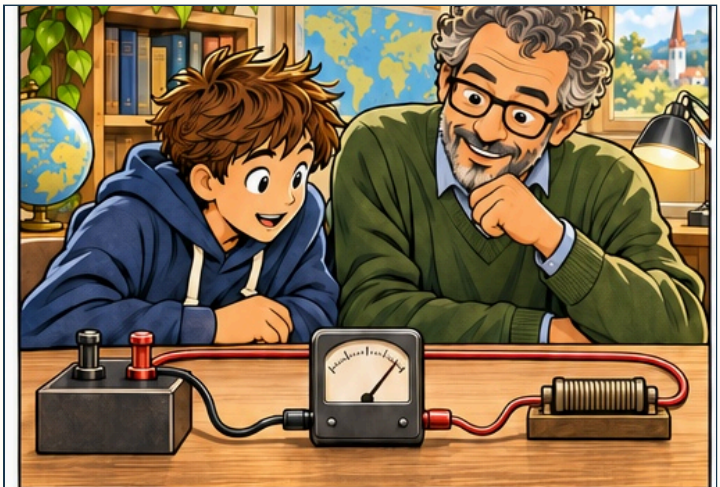
Με αποσυνδεδεμένη πηγή, ο καθοδηγητής παρεμβάλλει αμπερόμετρο σε σειρά.



Ελέγχει υποδοχή ρεύματος, ασφάλεια, συνεχές ρεύμα και κλίμακα.



Αμπερόμετρο δεν συνδέεται ποτέ απευθείας στους πόλους της πηγής.



Μετά τον έλεγχο τροφοδοτούν και διαβάζουν το ρεύμα.

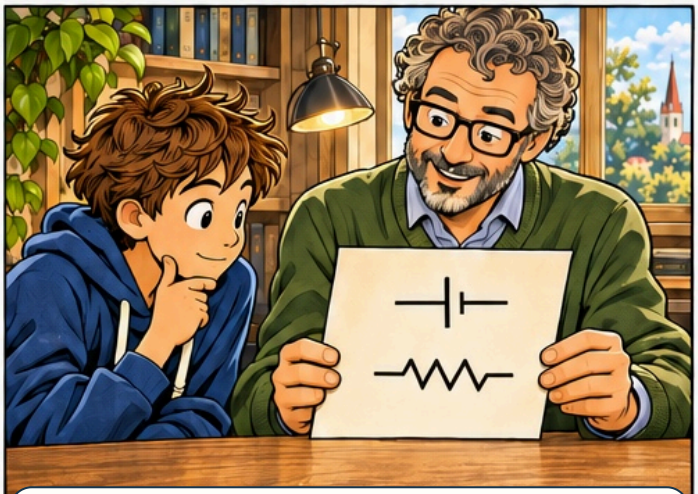


Πριν από αλλαγές αποσυνδέουν· επαναφέρουν τα καλώδια για τάση.

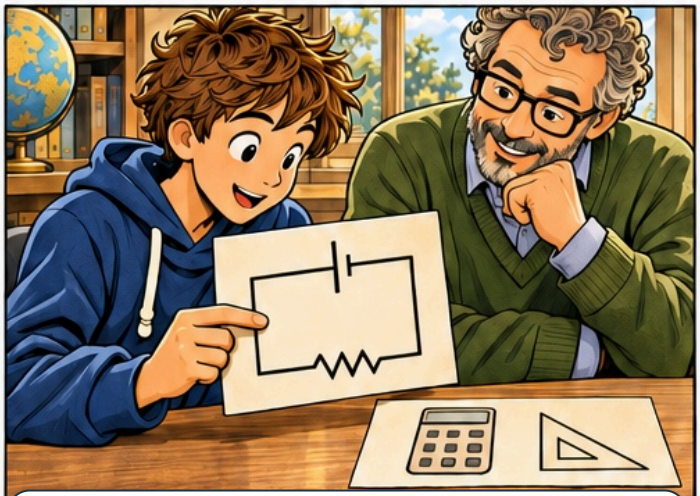
Πρώτο σημείο σύγκρισης



Αρχίζουν με τη χαμηλότερη προβλεπόμενη τάση.



Το ιδανικό παράδειγμα συνδυάζει 1,5 V και 100 Ω.



Το αναμενόμενο ρεύμα είναι 0,015 A, δηλαδή 15 mA.



Οι πραγματικές μετρήσεις καταγράφονται χωριστά από τις ιδανικές τιμές.



Lucas προσθέτει κύκλωμα και μονάδες.



Η πρώτη γραμμή είναι μόνο αρχή.

Διπλάσια τάση



Αποσυνδέουν την πηγή πριν αλλάξουν ρύθμιση.



Διατηρούν ίδια αντίσταση και συνθήκες μέτρησης.



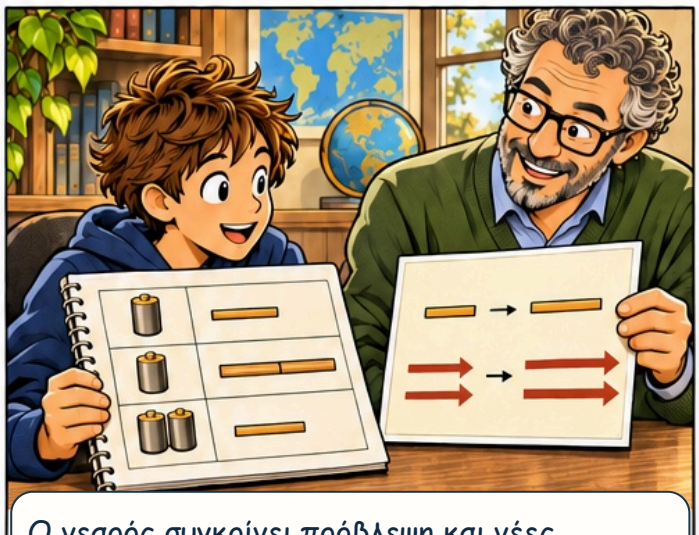
Στο ιδανικό παράδειγμα η τάση αυξάνεται από 1,5 V σε 3 V.



Το ρεύμα αυξάνεται από 15 mA σε 30 mA.



Διπλασιάστηκαν και η τάση και το ρεύμα.



Ο νεαρός συγκρίνει πρόβλεψη και νέες παρατηρήσεις.

Τρίτη δοκιμή



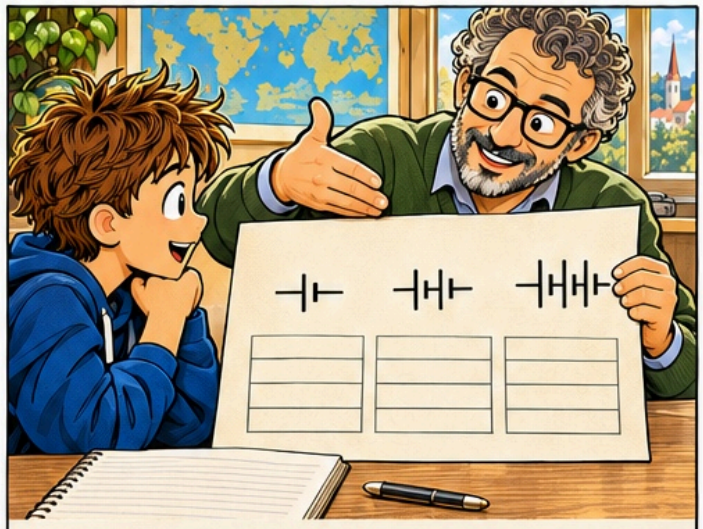
Νέα δοκιμή πρέπει να επιβεβαιώσει την τάση των αποτελεσμάτων.



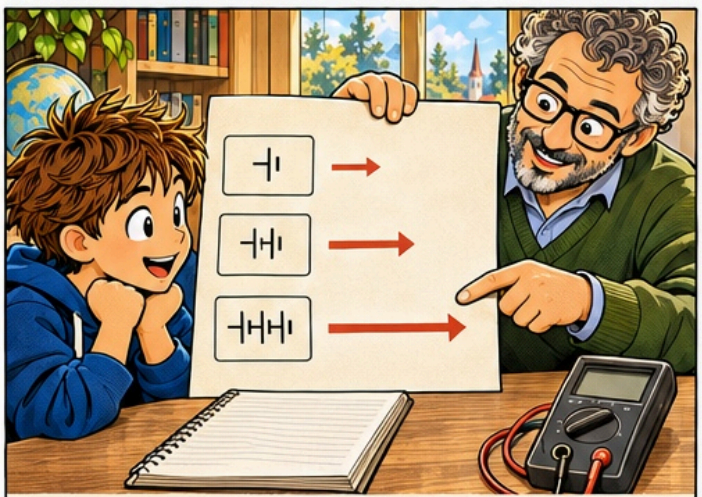
Ακολουθούν την ίδια διαδικασία έως 4,5 V.



Με 100 Ω, προβλέπονται 0,045 A, δηλαδή 45 mA.



Το παράδειγμα έχει τώρα 1,5 V, 3 V και 4,5 V.



Αντιστοιχούν 15 mA, 30 mA και 45 mA.



Μετά την ανάγνωση αποσυνδέουν ξανά την πηγή.

Τι μένει σταθερό



Ο νεαρός διαιρεί κάθε τάση με το ρεύμα σε αμπέρ.



1,5 V ÷ 0,015 A = 100 Ω.



3 V ÷ 0,030 A = 100 Ω.



4,5 V ÷ 0,045 A = 100 Ω.



Στο ιδανικό παράδειγμα ο λόγος U/I μένει σταθερός.



Η σταθερά αυτή είναι η αντίσταση R.

Η σχέση παίρνει μορφή



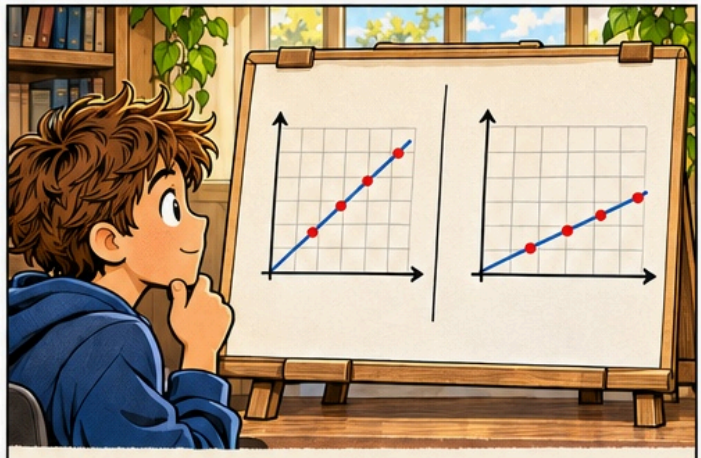
Το γράφημα δείχνει την αναλογία.



Τα ιδανικά σημεία βρίσκονται σε ευθεία από την αρχή.



Με U στον οριζόντιο άξονα και I στον κάθετο, κλίση 1/R.



Αντιστρέφοντας άξονες αλλάζει η ερμηνεία της κλίσης.



Οι μετρήσεις μπορεί να αποκλίνουν λίγο από την ευθεία.



Το σχέδιο φωτίζει αριθμούς, χωρίς να καταργεί τις συνθήκες.

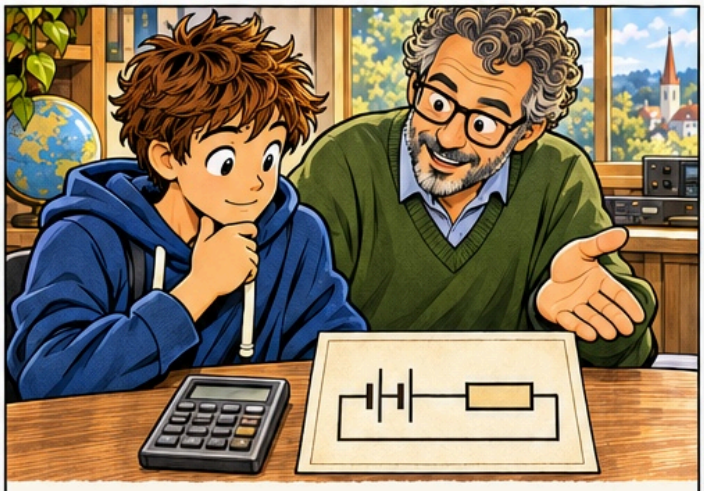
U = R × I



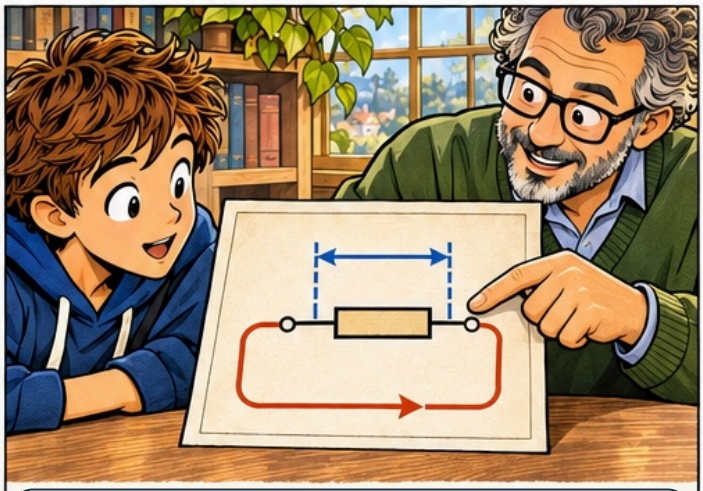
Η σχέση γράφεται U = R × I.



Η τάση ωμικής αντίστασης ισούται με R επί I.



100 Ω × 0,030 A δίνει U = 3 V.



Τα μεγέθη πρέπει να αφορούν το ίδιο εξάρτημα.



Το ρεύμα εκφράζεται εδώ σε αμπέρ.



Ο νεαρός καταλαβαίνει τι συνδέει ο τύπος.

Εύρεση του ρεύματος



Γνωρίζοντας U και R, προβλέπει I.



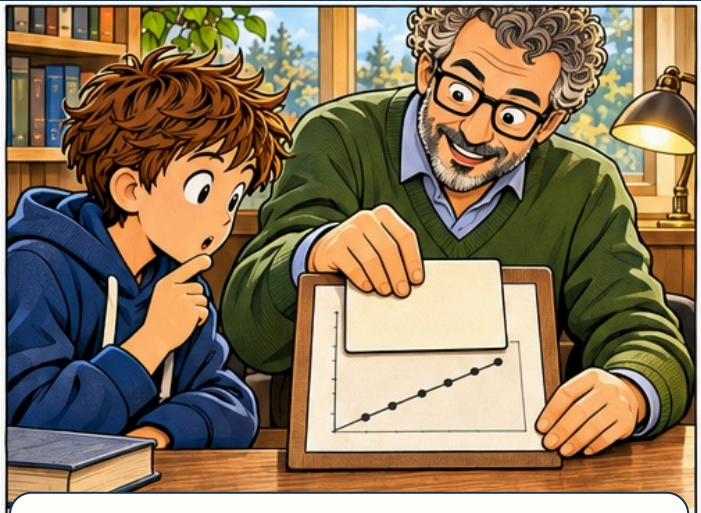
Μετασχηματίζει: I = U/R.



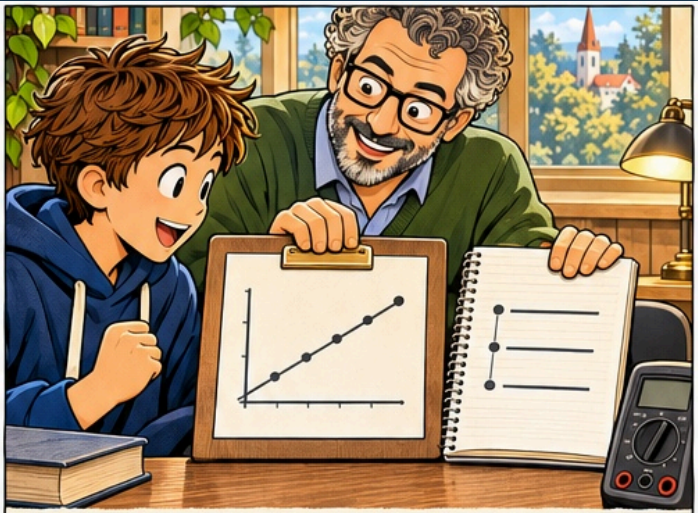
Για 3 V και 100 Ω: 3 ÷ 100 = 0,030 A.



Αυτό αντιστοιχεί σε 30 mA.



Ανακοινώνει την πρόβλεψη πριν δει τη μέτρηση.



Ο υπολογισμός ρωτά το πείραμα.

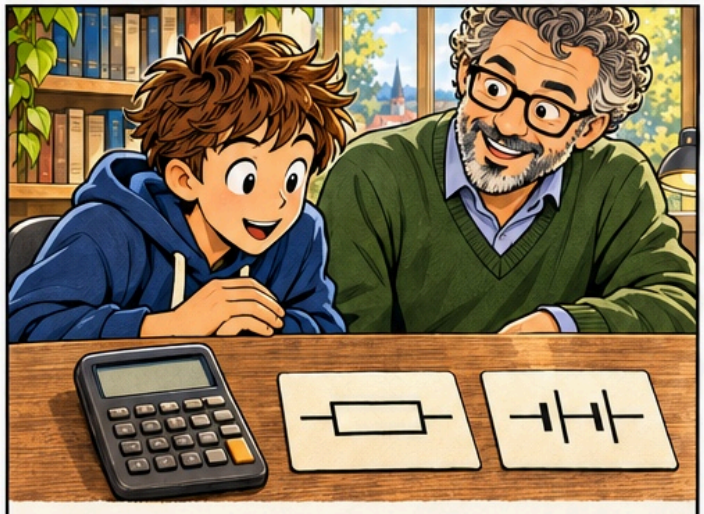
Εύρεση της αντίστασης



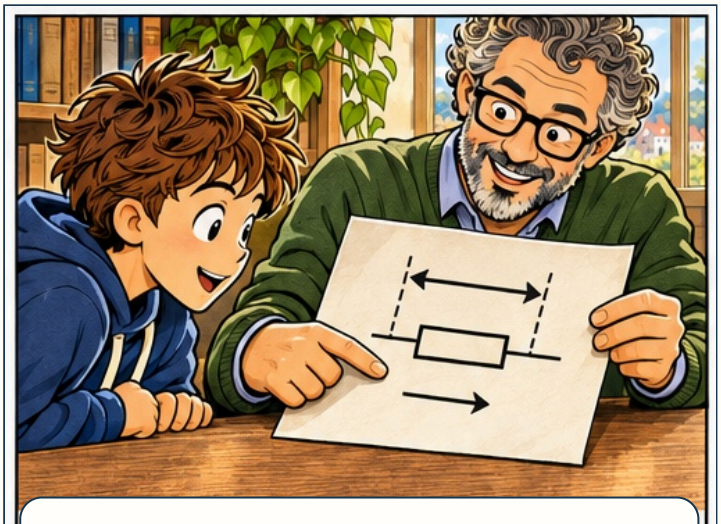
Άλλη ερώτηση ξεκινά από U και I.



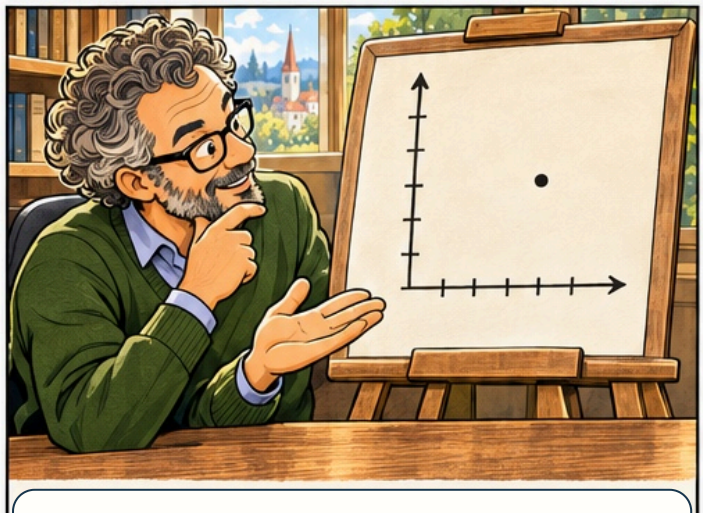
Τότε R = U/I.



3 V ÷ 0,015 A δίνει 200 Ω.



Αφορούν το ίδιο δίπολο την ίδια χρονική στιγμή.



Ο λόγος μόνος του δεν αποδεικνύει ωμική συμπεριφορά.



Χρειάζονται παρατηρήσεις σε αρκετά σημεία λειτουργίας.

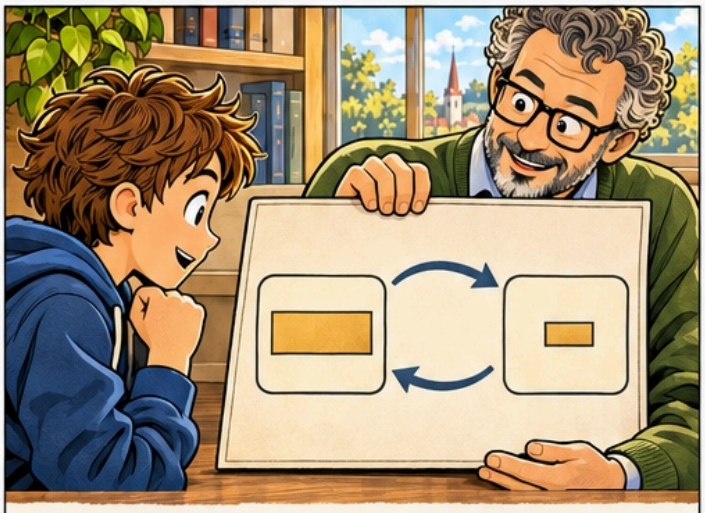
Προσοχή στα μιλιαμπέρ



Ο νεαρός γράφει 30 mA και διστάζει στον υπολογιστή.



Ένα μιλιαμπέρ είναι ένα χιλιοστό του αμπέρ.



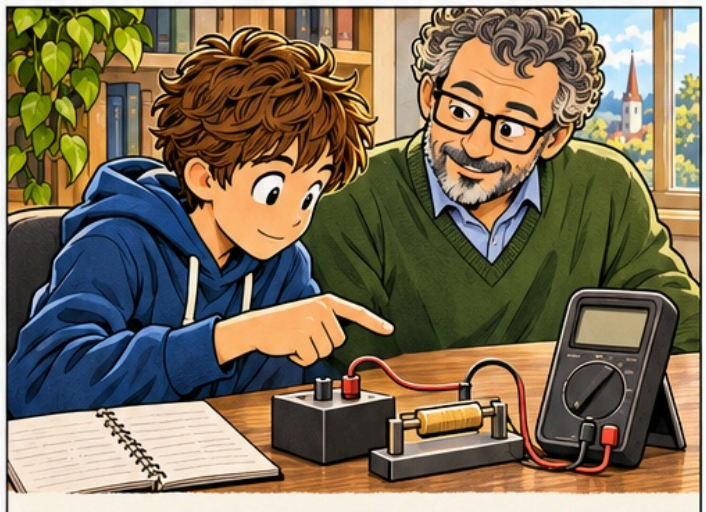
30 mA = 0,030 A· 15 mA = 0,015 A.



Το 30 αντί του 0,030 θα έδινε χιλιαπλάσιο σφάλμα.



Πρώτα μετατρέπει τις μονάδες, μετά υπολογίζει.



Στο τέλος ελέγχει την τάξη μεγέθους.

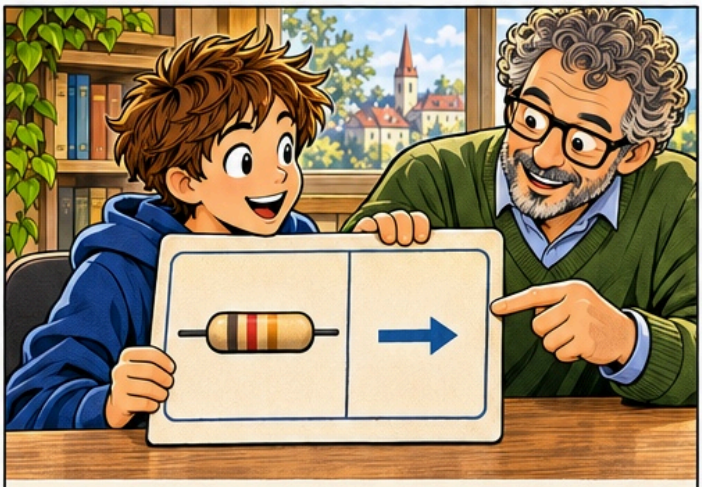
Πρόβλεψη πριν από αλλαγή



Συγκρίνουν δύο αντιστάσεις με την ίδια τάση.



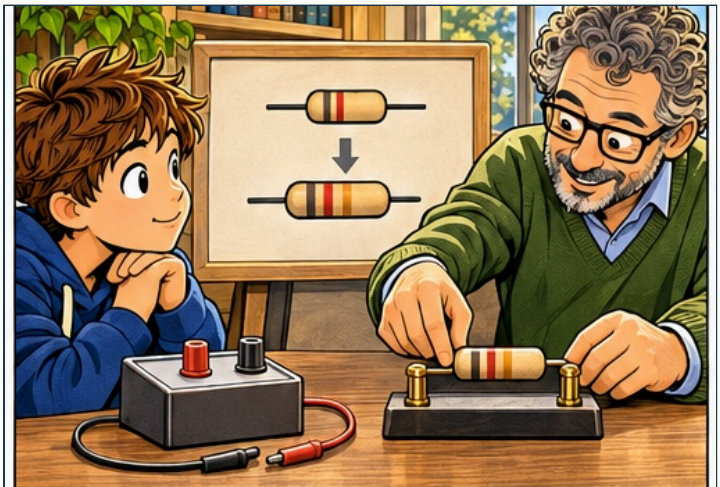
3 V και 100 Ω δίνουν ιδανικά 30 mA.



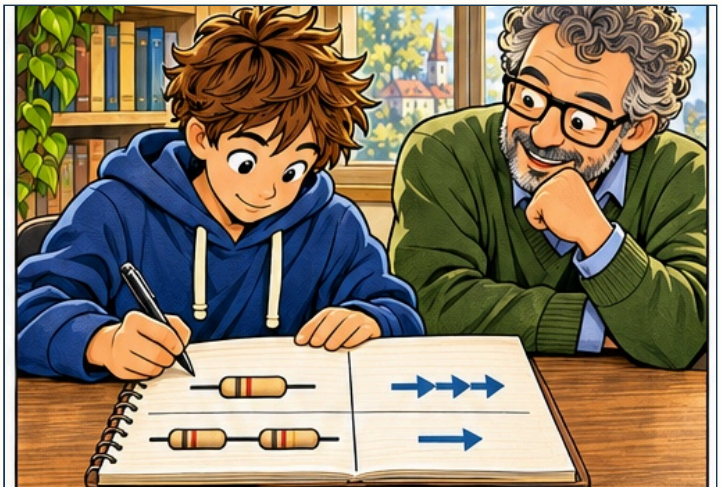
3 V και 200 Ω δίνουν 15 mA.



Με σταθερό U, διπλάσιο R υποδιπλασιάζει το I.



Πριν αντικαταστήσουν εξάρτημα αποσυνδέουν την πηγή.

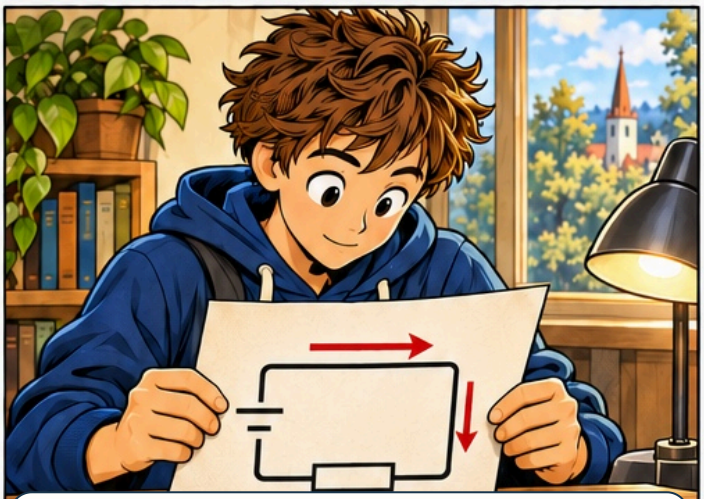


Ο νεαρός σημειώνει πρώτα πρόβλεψη, μετά μετρήσεις.

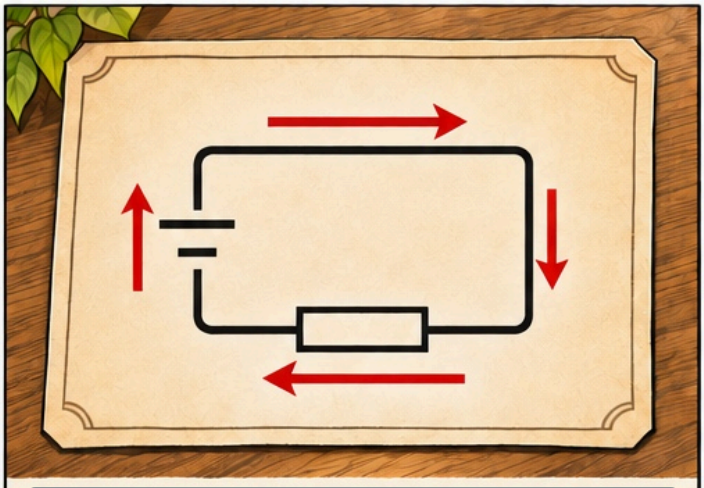
Ούτε αποθήκη ούτε απώλεια ρεύματος



Η αντίσταση δεν αποθηκεύει ρεύμα για αργότερα.



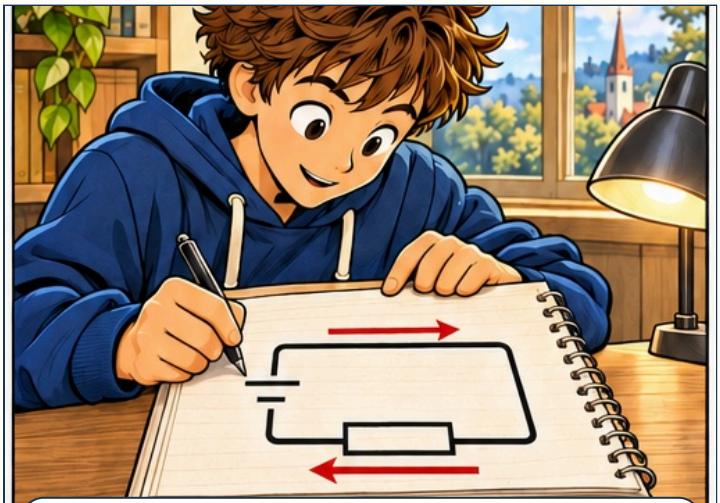
Το ρεύμα δεν καταναλώνεται σταδιακά σε αυτόν τον βρόχο.



Σε μόνιμη κατάσταση είναι ίδιο πριν και μετά την αντίσταση.



Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται, μεταξύ άλλων, σε θερμότητα.

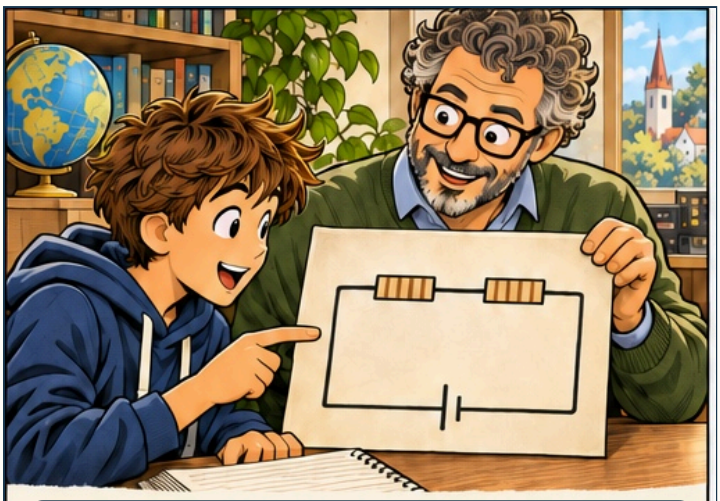


Ο νεαρός διορθώνει τα βέλη που μίκραιναν μετά το εξάρτημα.



Το σχέδιο ταιριάζει καλύτερα στις παρατηρήσεις.

Δύο αντιστάσεις σε σειρά



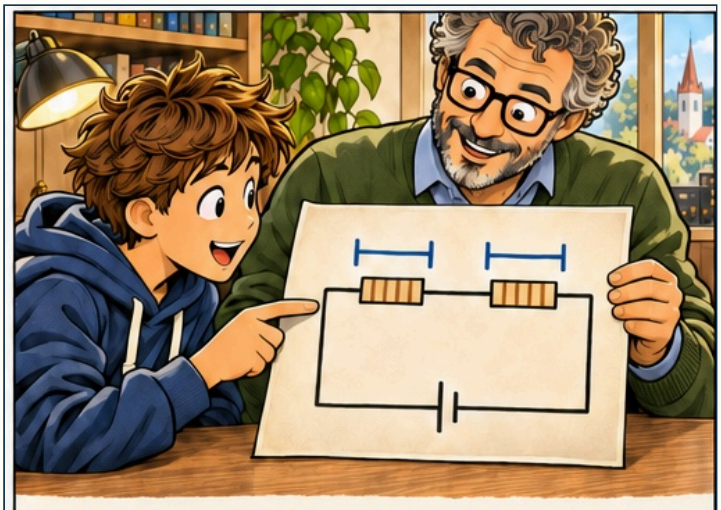
Στο χαρτί δύο αντιστάσεις 100 Ω μπαίνουν διαδοχικά.



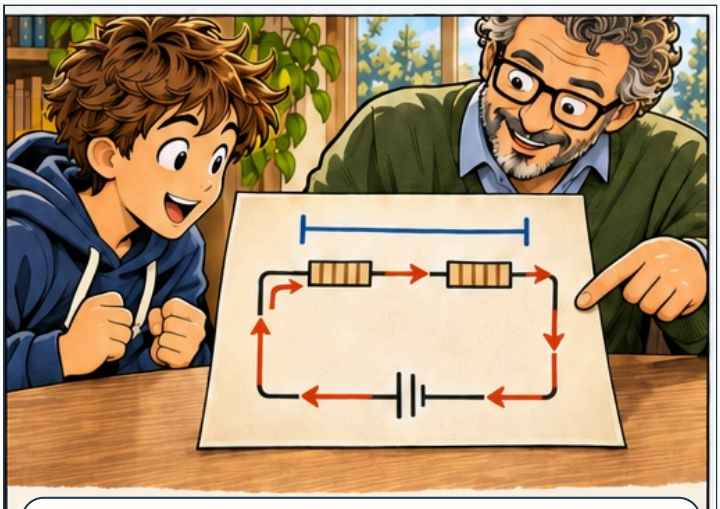
Σε σειρά: 100 Ω + 100 Ω = 200 Ω.



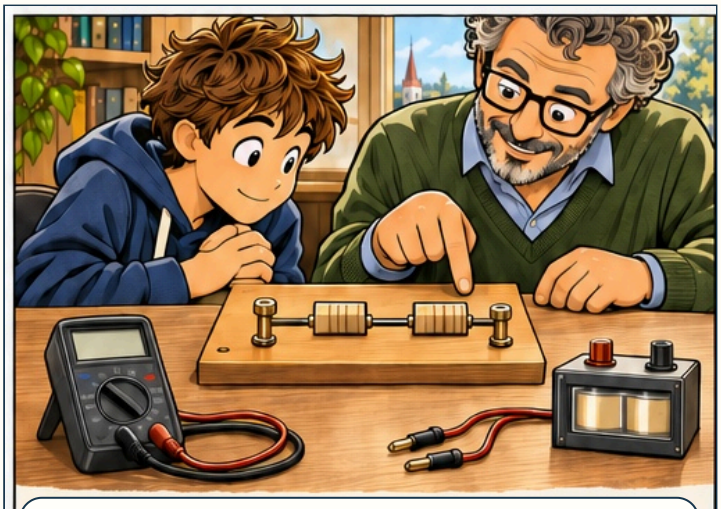
Στα 3 V, ιδανικό ρεύμα βρόχου 15 mA.



Κάθε αντίσταση έχει τάση 1,5 V.

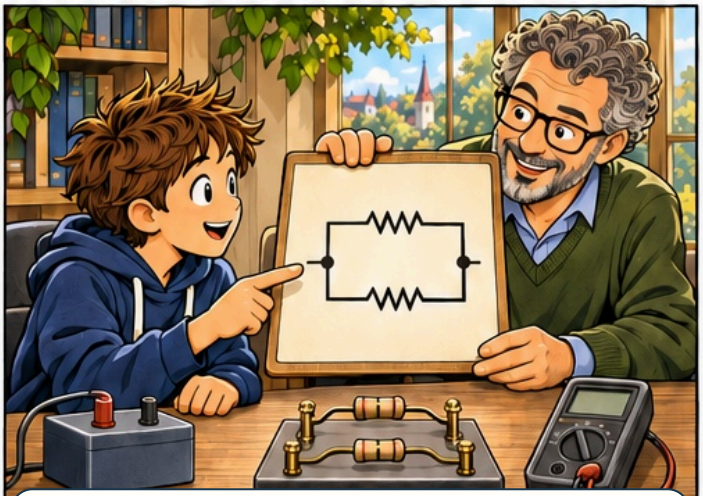


Οι τάσεις αθροίζονται· ίδιο ρεύμα διαρρέει και τις δύο.

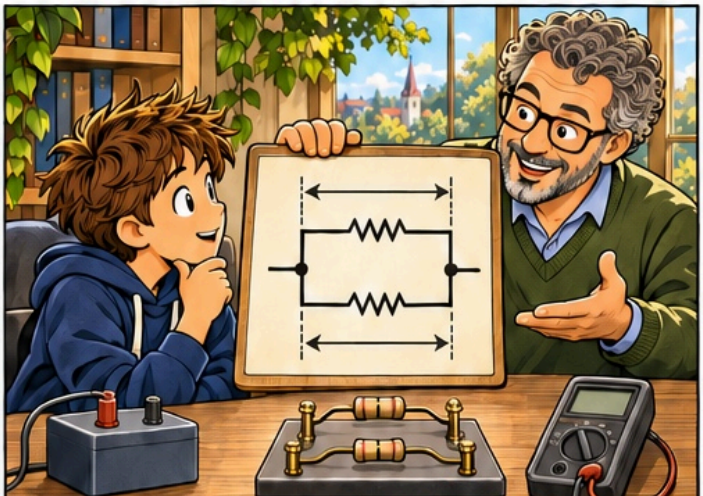


Το ελέγχουν με κατάλληλο κύκλωμα, αλλάζοντάς το χωρίς τροφοδοσία.

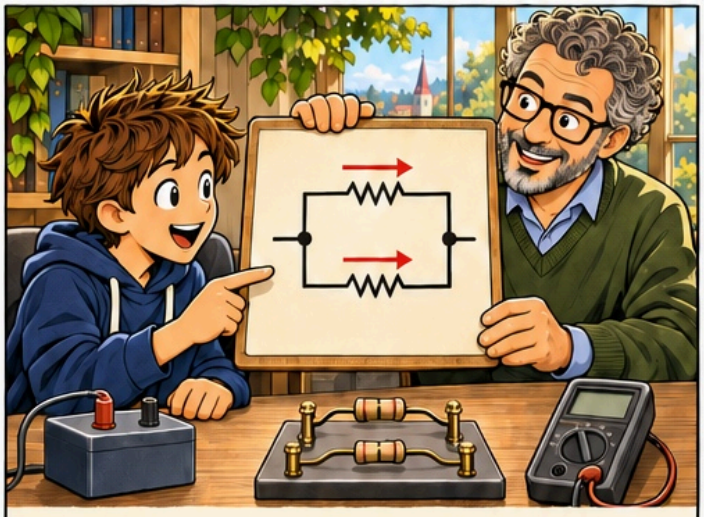
Δύο παράλληλοι δρόμοι



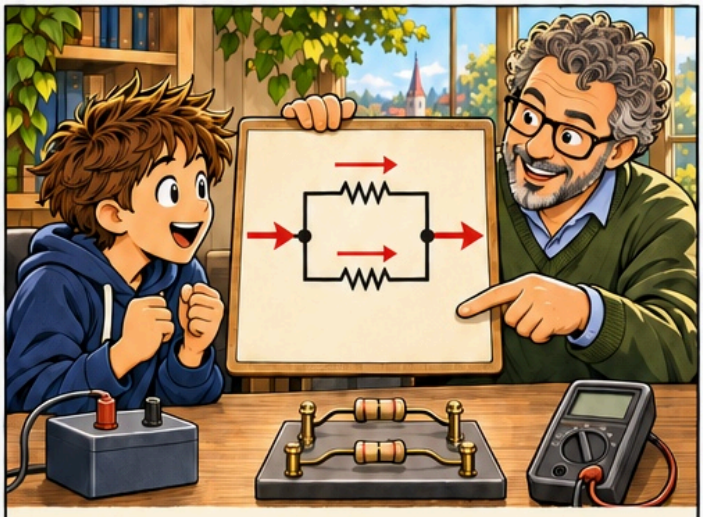
Το σχέδιο δείχνει δύο αντιστάσεις 100 Ω σε παράλληλους κλάδους.



Κάθε κλάδος δέχεται 3 V.



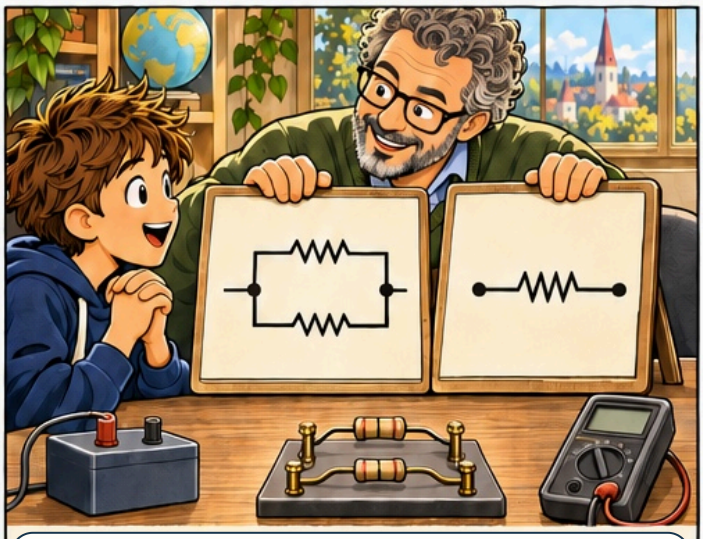
Κάθε αντίσταση διαρρέεται ιδανικά από 30 mA.



Τα ρεύματα αθροίζονται: συνολικά 60 mA.

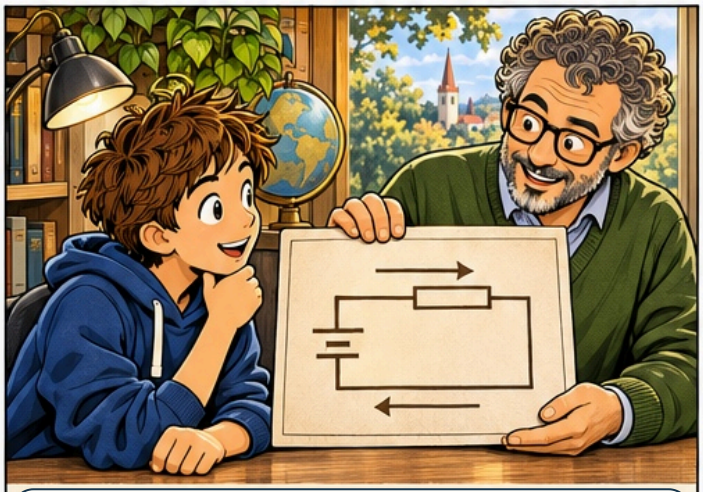


Ισοδύναμη αντίσταση: 3 V ÷ 0,060 A = 50 Ω.



Εδώ δεν αρκεί η απλή πρόσθεση αντιστάσεων.

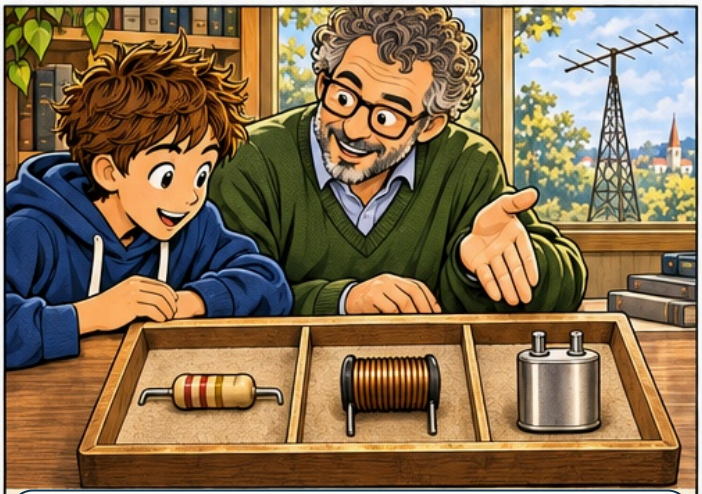
Τα όρια του μοντέλου



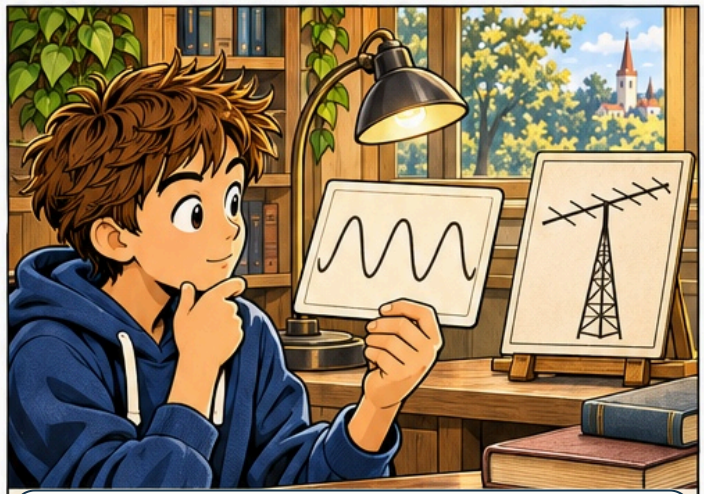
Οι υπολογισμοί αφορούν ωμικές αντιστάσεις σε συνεχές ρεύμα.



Μετρούν η θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά εξαρτημάτων.



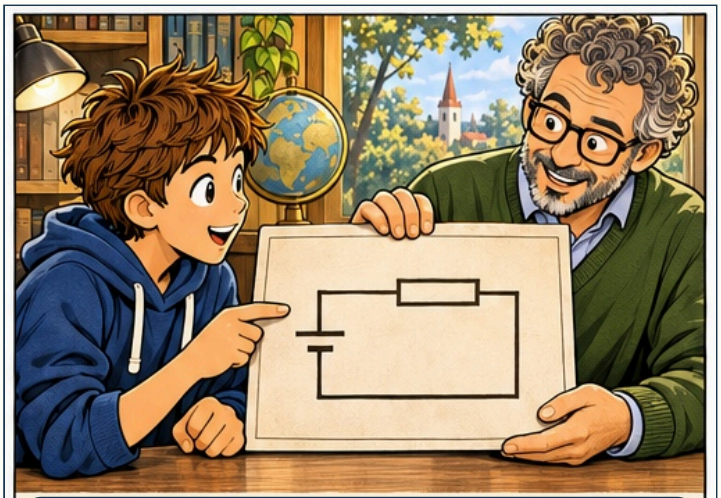
Πηνίο, πυκνωτής ή κεραία δεν περιγράφονται πάντα έτσι.



Στις ραδιοσυχνότητες άλλα φαινόμενα οδηγούν στη σύνθετη αντίσταση.



Ο νεαρός κρατά το ερώτημα για άλλη περιπέτεια.



Η γνώση ορίων ανήκει στην κατανόηση του μοντέλου.

Και η ενέργεια υπολογίζεται



Η επίδειξη λαμβάνει υπόψη τη διαχεόμενη ισχύ.



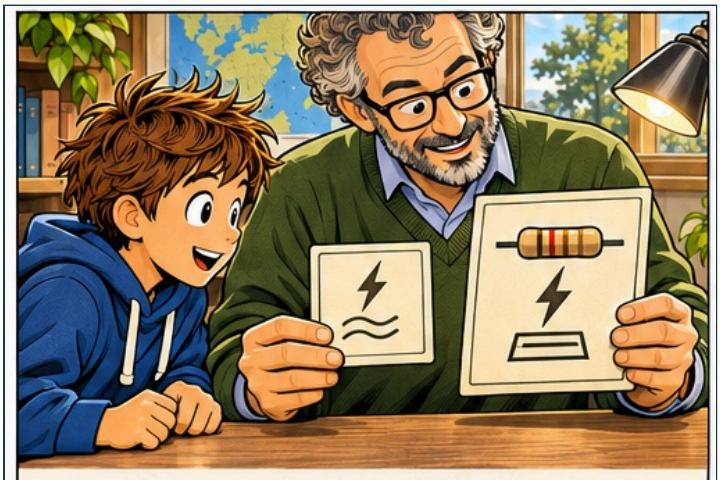
Στο συνεχές P = U × I· μονάδα βατ W.



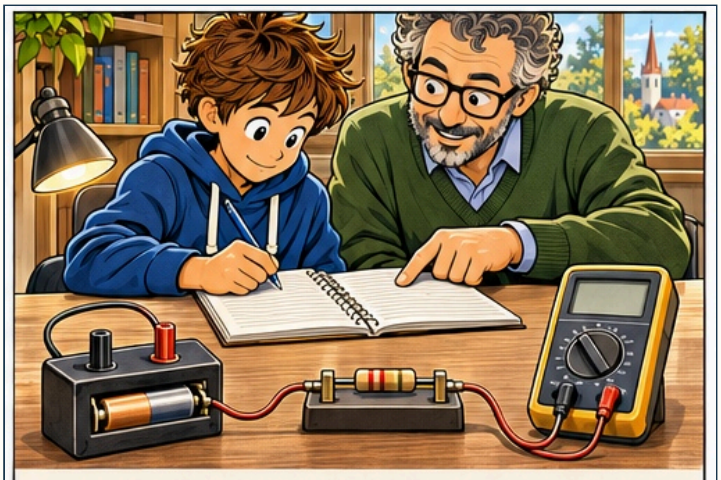
3 V × 0,030 A δίνει P = 0,090 W.



Στην αντίσταση η ενέργεια γίνεται κυρίως θερμότητα.



Πρέπει να τηρείται η επιτρεπόμενη ισχύς του εξαρτήματος.



Ακόμη και μικρό κύκλωμα χρειάζεται αυτόν τον έλεγχο.

Επιλογή με περιθώριο



4,5 V και 100 Ω δίνουν ιδανικά 45 mA.



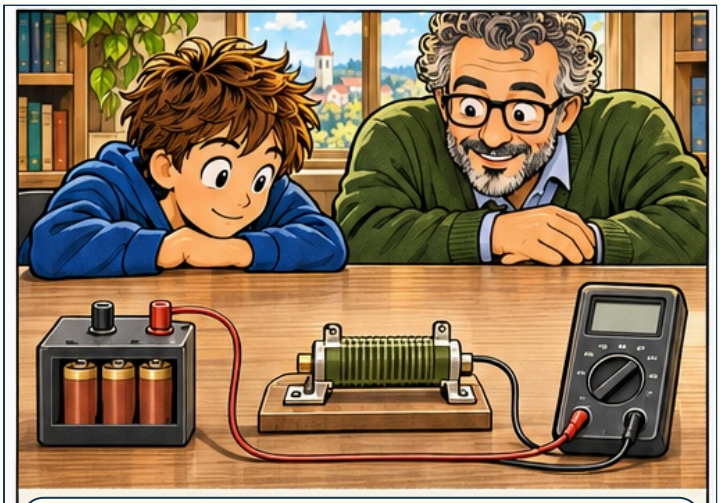
Ισχύς: 4,5 × 0,045 = 0,2025 W.



Η αντίσταση 1 W αφήνει περιθώριο στη σχεδιασμένη δοκιμή.



Ισχύουν και οι συνθήκες χρήσης του κατασκευαστή.



Δεν αγγίζουν τροφοδοτημένο εξάρτημα για να ελέγξουν θέρμανση.



Henri στηρίζεται πάντα στα όρια του εξοπλισμού.

Η μυστηριώδης αντίσταση



Ο καθοδηγητής δίνει τελευταίο γρίφο στο χαρτί.



Ωμική αντίσταση έχει 3 V και 0,020 A.



Ο νεαρός υπολογίζει R = 3 ÷ 0,020 = 150 Ω.



Μετά P = 3 × 0,020 = 0,060 W.



Εξηγεί τα βήματα, χωρίς να μαντεύει αναμενόμενη απάντηση.



Ο γρίφος δείχνει τη μέθοδό του.

Όταν διαφέρει λίγο η μέτρηση



Η μέτρηση μπορεί να διαφέρει λίγο από την ιδανική τιμή.



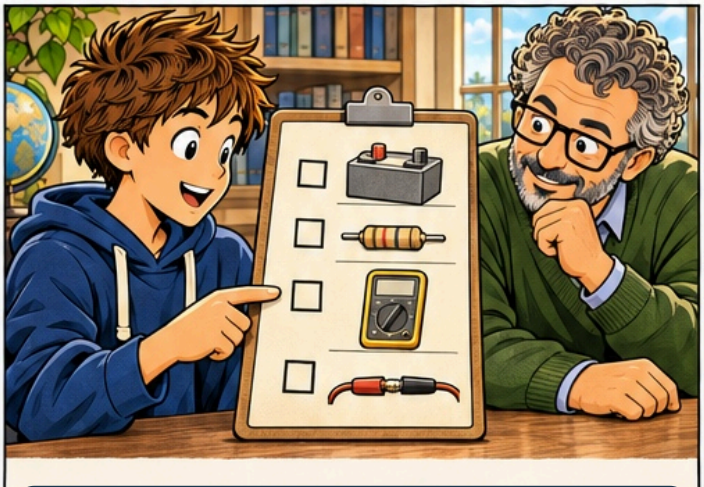
Η αντίσταση έχει ανοχή, η πηγή πραγματική τάση.



Το όργανο έχει όρια και επηρεάζει το κύκλωμα.



Ατελείς επαφές μπορούν επίσης να αλλάξουν την παρατήρηση.



Συγκρίνουν συνθήκες πριν αμφισβητήσουν τον νόμο.



Ο νεαρός εξηγεί την απόκλιση αντί να αλλοιώνει την ένδειξη.

Ένα λάθος που διδάσκει



Στο πρόχειρο το ρεύμα είναι χίλιες φορές μεγαλύτερο.



Ο νεαρός δεν προσπαθεί να το πετύχει αλλάζοντας πηγή.



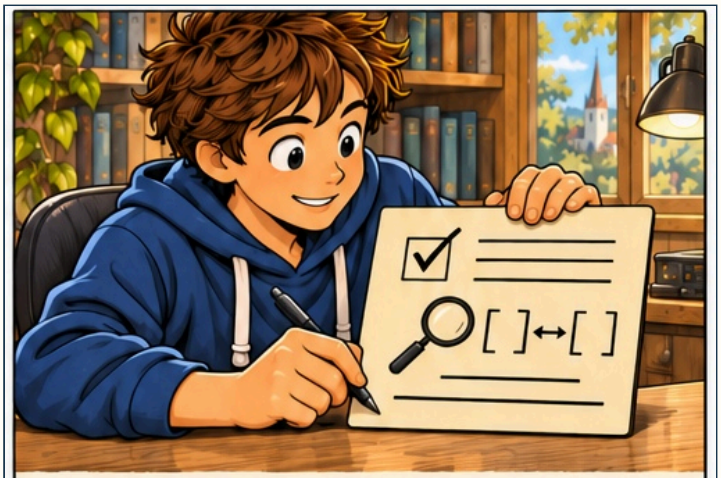
Ανακαλύπτει ότι αντιμετώπισε μιλιαμπέρ σαν αμπέρ.



Το κύκλωμα μένει αποσυνδεδεμένο στον έλεγχο.



Μετά τη μετατροπή η τάξη μεγέθους είναι λογική.

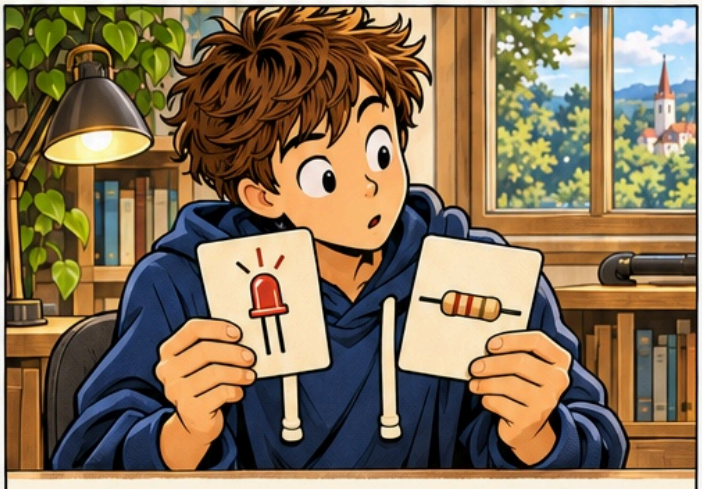


Το αναγνωρισμένο λάθος γίνεται μελλοντική υπενθύμιση.

Η δίοδος θέτει άλλο ερώτημα



Ο νεαρός βλέπει LED στο διπλανό κουτί.



Είναι άραγε αντίσταση σταθερής τιμής;



Ο καθοδηγητής εξηγεί τη μη γραμμική σχέση τάσης και ρεύματος.



U = R × I με σταθερό R δεν περιγράφει κάθε δίοδο.



Το LED μένει στο κουτί· χρειάζεται κατάλληλο κύκλωμα.



Η κατανόηση αποτρέπει την άκριτη εφαρμογή.

Η θερμοκρασία μετρά



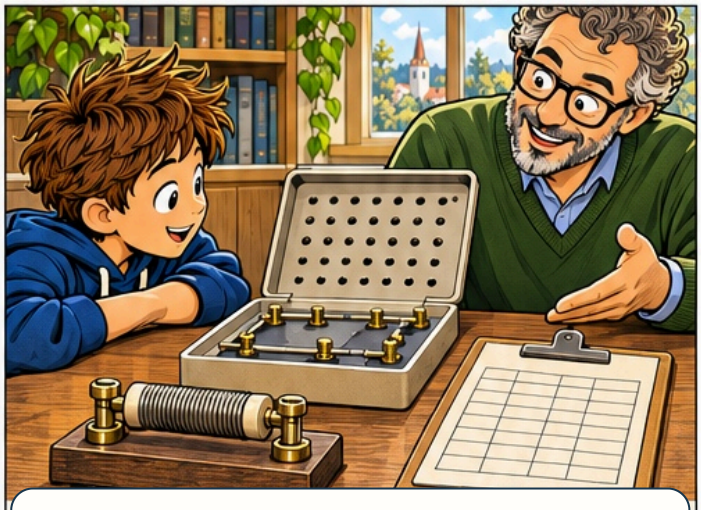
Ο λαμπτήρας πυράκτωσης δείχνει άλλη συμπεριφορά.



Όταν αλλάζει θερμοκρασία, αλλάζει και αντίσταση.



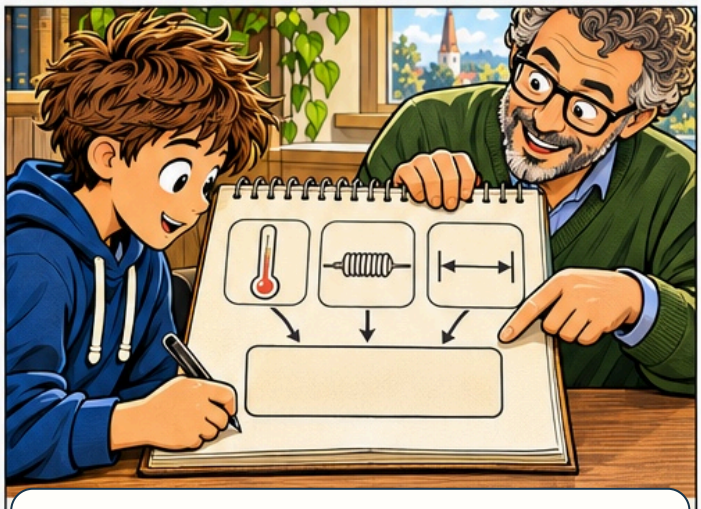
Η στιγμιαία τιμή δεν γίνεται καθολική σταθερά.



Και η δική τους αντίσταση απαιτεί κανονικές συνθήκες.



Δεν κάνουν δοκιμή θέρμανσης για απόδειξη.

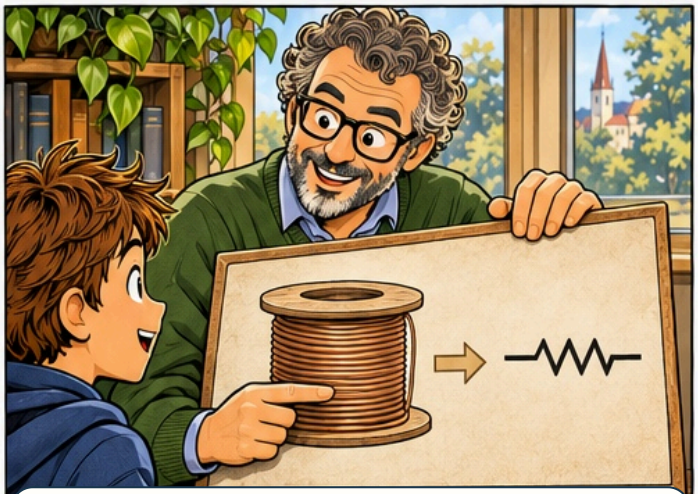


Ο νεαρός προσθέτει τις συνθήκες δίπλα στον τύπο.

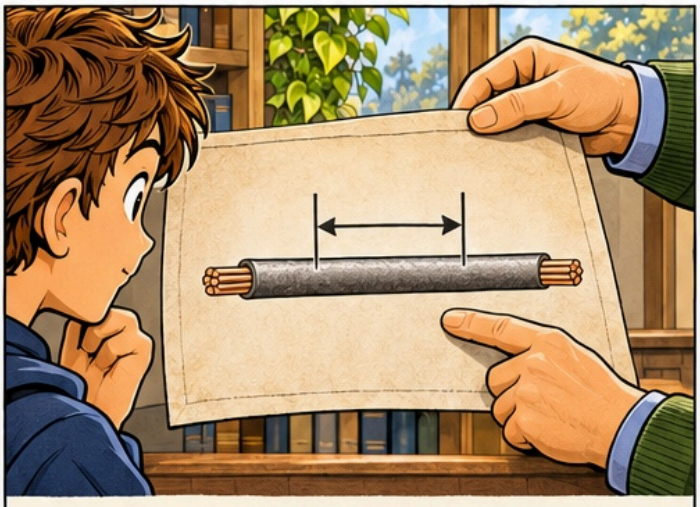
Ως τα καλώδια του σταθμού



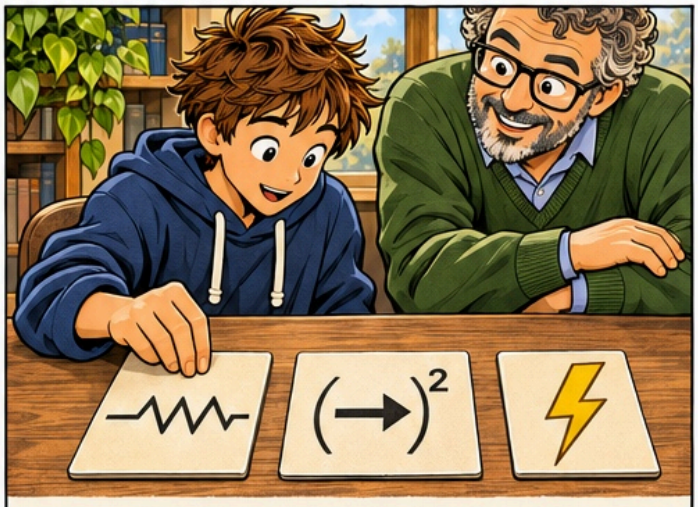
Ο νεαρός κοιτά τα καλώδια του κυκλώματος.



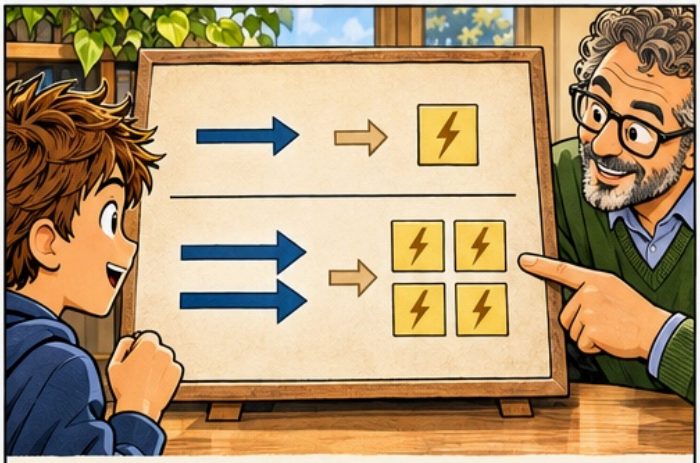
Και πραγματικός αγωγός μπορεί να έχει αντίσταση.



Το ρεύμα προκαλεί τότε πτώση τάσης.



Για αντίσταση γράφεται επίσης $P = R \times I^2$.



Με ίδιο R, διπλάσιο I τετραπλασιάζει την ισχύ.



Καταλαβαίνει τα κατάλληλα καλώδια, χωρίς επέμβαση στον σταθμό.

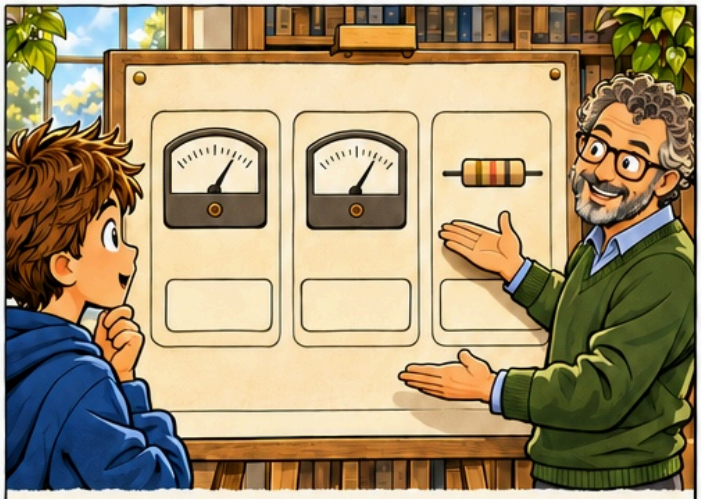
Προετοιμασία της επίδειξης



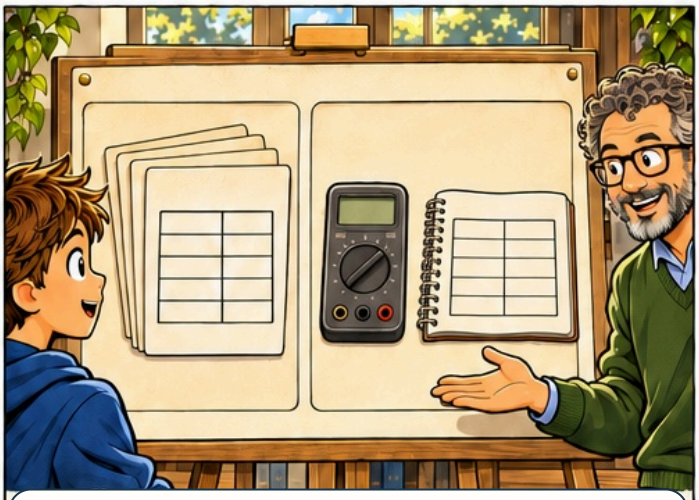
Πλησιάζει η δραστηριότητα των επισκεπτών.



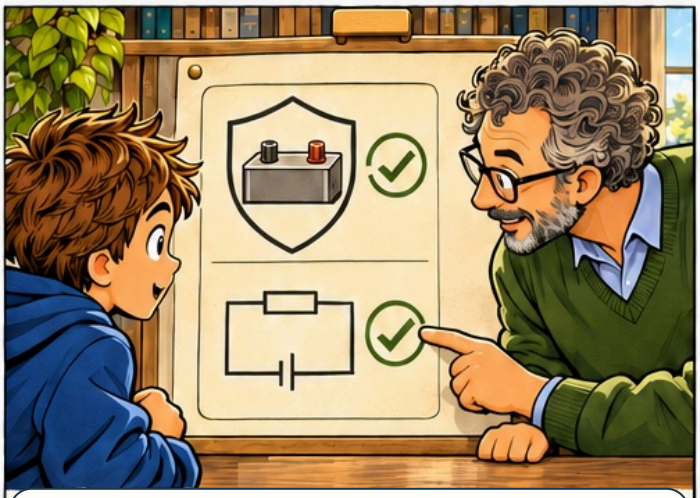
Ο νεαρός επιλέγει ένα κύκλωμα για τα βασικά.



Παρουσιάζει U, I και R με τις μονάδες τους.



Ιδανικό παράδειγμα και μέτρηση έχουν χωριστές θέσεις.



Οδηγίες σύνδεσης και όρια μοντέλου μένουν ορατά.



Η ιστορία αρχίζει με ερώτηση, όπως η έρευνα του Ωμ.

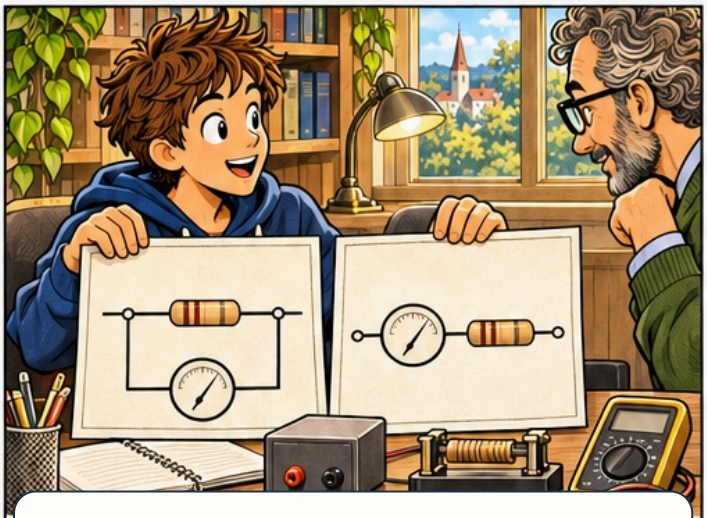
Κοινός έλεγχος



Henri παριστάνει περίεργο επισκέπτη.



Lucas εξηγεί την τάση μεταξύ δύο σημείων.



Ξεχωρίζει συνδέσεις βολτομέτρου και αμπερομέτρου.



Υπενθυμίζει: αλλαγές πάντα με αποσυνδεδεμένη πηγή.



Δικαιολογεί αντίσταση και επιτρεπόμενη ισχύ.



Δύσκολη ερώτηση βοηθά να διευκρινίσει την εξήγηση.

Πρόβλεψη, μέτρηση, κατανόηση



Η πρόβα τελειώνει με δοκιμή στα σχεδιασμένα όρια.



Ο νεαρός προβλέπει ρεύμα από τάση και αντίσταση.



Ο καθοδηγητής ελέγχει κύκλωμα και επιβλέπει μετρήσεις.



Συγκρίνουν πρόβλεψη και παρατήρηση με μονάδες.



Ο νεαρός εξηγεί μικρή διαφορά χωρίς επινόηση αποτελέσματος.



Μετά αποσυνδέουν την πηγή και τακτοποιούν.

Μια ανακάλυψη που ταξιδεύει



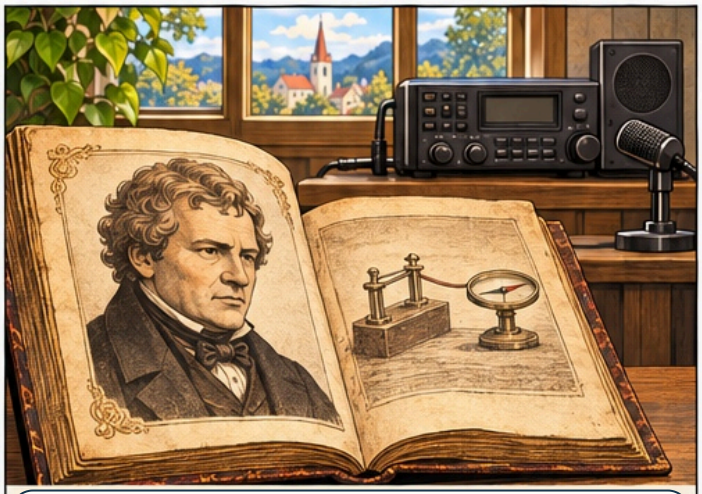
Lucas ανοίγει ξανά το βιβλίο στον Ωμ.



Από το παλιό εργαστήριο στον σύλλογο άλλαξαν τα όργανα.



Η υπομονή των παρατηρήσεων μένει γνώριμη.



Ο Ωμ δεν έφτιαξε τον σταθμό, αλλά βοηθά να τον κατανοήσουν.



Το σύγχρονο τετράδιο απαντά στο φανταστικό τετράδιο του επιστήμονα.



Μια ιδέα ταξιδεύει όσο συνεχίζουμε να τη ρωτάμε.

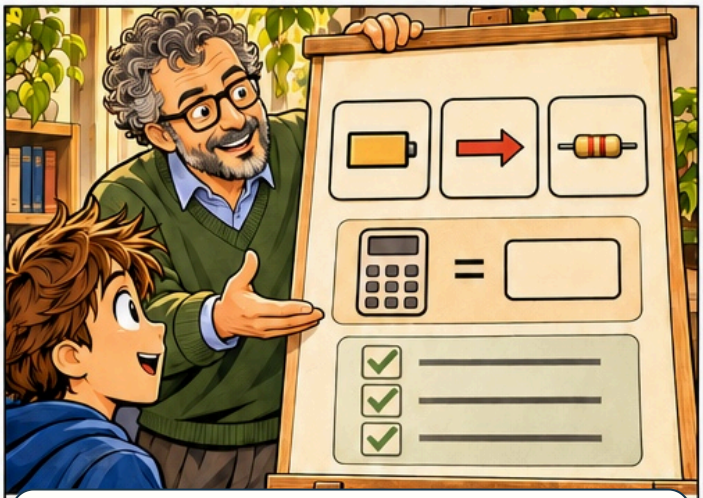
Ο τύπος γίνεται εργαλείο



Η αντίσταση επιστρέφει στο κουτί, χωρίς μυστήριο.



U = R × I συνδέει πια γνωστά μεγέθη.



Ο νεαρός μετατρέπει, προβλέπει, μετρά και ελέγχει συνθήκες.



Ο τύπος δεν αντικαθιστά μέθοδο ούτε όρια εξοπλισμού.



Henri χαμογελά στην επίδειξη, έτοιμη να μοιραστεί.



Στον σύλλογο περιμένει ήδη η ερώτηση του επόμενου τετραδίου.