ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 1 (2020)

Watt Balance

Ζωή Κουρουτζίδου, Άγγελος Θεολόγου, Βαγγέλης Μ Μαδεμλής, Νίκος Θρήσκος, Ευγένιος Μέττας, Δημήτριος Χρονόπουλος Χρονόπουλος

doi: 10.12681/osj.22362

Copyright © 2020, Ζωή Κουρουτζίδου, Άγγελος Θεολόγου, Βαγγέλης Μ Μαδεμλής, Νίκος Θρήσκος, Ευγένιος Μέττας, Δημήτριος Χρονόπουλος Χρονόπουλος

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Κουρουτζίδου Ζ., Θεολόγου Ά., Μαδεμλής Β. Μ., Θρήσκος Ν., Μέττας Ε., & Χρονόπουλος Δ. Χ. (2020). Watt Balance. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(1). https://doi.org/10.12681/osj.22362

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 27/01/2026 02:13:28

Open Schools Journal for Open Science

Volume 4

Watt Balance

Ζωή, Κουρουτζίδου[1], Άγγελος Θεολόγου[1], Βαγγέλης Μαδεμλής[1], Νίκος Θρήσκος[1], Ευγένιος Μέττας[1], Δημήτριος Χρονόπουλος[2]

[1] 1ο Γενικό Ενιαίο Λύκειο Νεάπολης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
[2] Φυσικός, 1ο Γενικό Ενιαίο Λύκειο Νεάπολης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

Περίληψη

Το 1960 στο συνέδριο Μέτρων και Σταθμών έγινε πρόταση όλες οι χώρες να χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα μονάδων και έτσι δημιουργήθηκε το Διεθνές Σύστημα Μονάδων S.I (International System of Units). Το μέτρο (m) είναι μια από τις θεμελιώδεις μονάδες του S.I και αρχικά ορίστηκε ως η απόσταση στους 0ο C μεταξύ δύο χαραγών πάνω σε μια ράβδο από ιριδιούχο λευκόχρυσο, που φυλάσσεται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών στο Παρίσι. Αντίγραφα αυτού του προτύπου στάλθηκαν σε διάφορες χώρες. Δυστυχώς όμως τα μεταλλικά πρότυπα αλλοιώνονται με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα το μήκος τους να υφίσταται μικρές μεταβολές , που είναι όμως σημαντικές για τις μετρήσεις της σύγχρονης επιστήμης. Έτσι το 1983 το μέτρο ορίστηκε ξανά ως η απόσταση που διανύει το φως στο κενό σε χρόνο . Με δεδομένο ότι η ταχύτητα του φωτός είναι ακριβώς 299.792.458 m/s και αποτελεί μια φυσική σταθερά και η μονάδα μήκους (m) έχει καθοριστεί πλήρως. Παρόμοιο πρόβλημα είχαμε και με τη μονάδα μάζας (kg). Το 2011 έγινε μια προσπάθεια να καθοριστεί το (kg) με τη βοήθεια της σταθεράς του Planck h = 6,6260693x10^(-34) J.s. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του χιλιόγραμμου ,ονομάζεται Watt Balance ή Kibble Balance προς τιμή του εφευρέτη της Bryan Kibble. Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια μέτρησης της μάζας με τις αρχές της μεθόδου Kibble Balance.

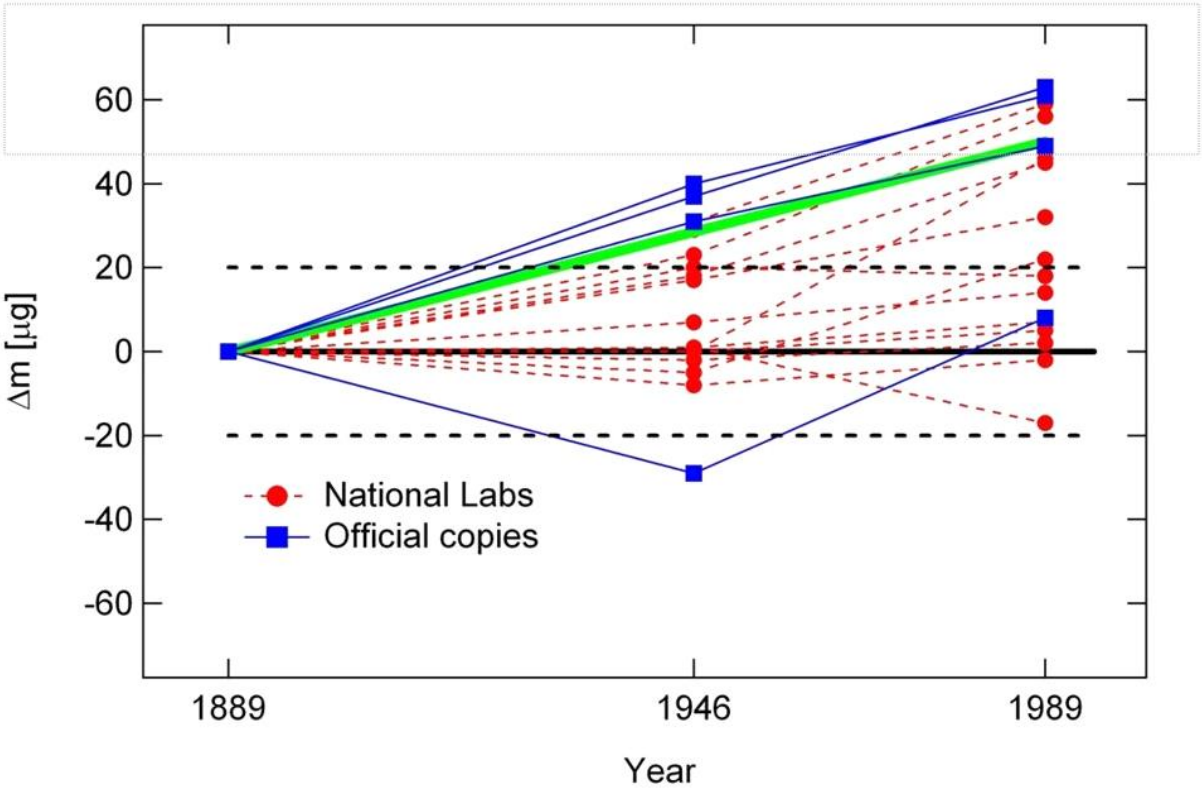
Λέξεις κλειδιά

μάζα-χιλιόγραμμο, αλλοίωση, σταθερά-Planck, ηλεκτρομαγνητισμός

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το **Διεθνές Πρωτότυπο Kilogram** (IPK) είναι η μόνη μάζα στη γη με **μηδενική** αβεβαιότητα. Το **IPK** είναι ένας από τους τρείς κυλίνδρους που σφυριλατήθηκαν το 1879 από κράμα λευκόχρυσου γνωστό ως Pt-10Ir και αποτελείται από 90% πλατίνα και 10% ιριδίου(Gläser et al.,2003;Becker et al.,2003). Αρκετά αντίγραφα του IPK υπάρχουν σε ολόκληρο τον κόσμο. Κανένα από αυτά τα αντίγραφα χιλιόγραμμα δεν έχει μάζα ακριβώς ίση με εκείνη του IPK(Genevès et al.,2005). Οι μάζες τους βαθμονομούνται και τεκμηριώνονται ως τιμές που δεν αντισταθμίζονται. Η σταθερότητα του IPK είναι ζωτικής σημασίας, επειδή το χιλιόγραμμο υποβαστάζει ένα μεγάλο μέρος του συστήματος μέτρησης **S.I** όπως αυτή ορίζεται αυτή τη στιγμή. Η πιο συνηθισμένη συσκευή για τη μέτρηση της μάζας ονομάζεται watt balance . Σχεδιάστηκε από τον Bryan Kibble το 1975 και συνδυάζει την ηλεκτρική ισχύ P=VI με τη μηχανική ισχύ P=mgv (Kibble, 1976).

Η μελέτη αυτή περιγράφει την κατασκευή και τη λειτουργία του **watt balance** που χτίστηκε κυρίως από **LEGO**.



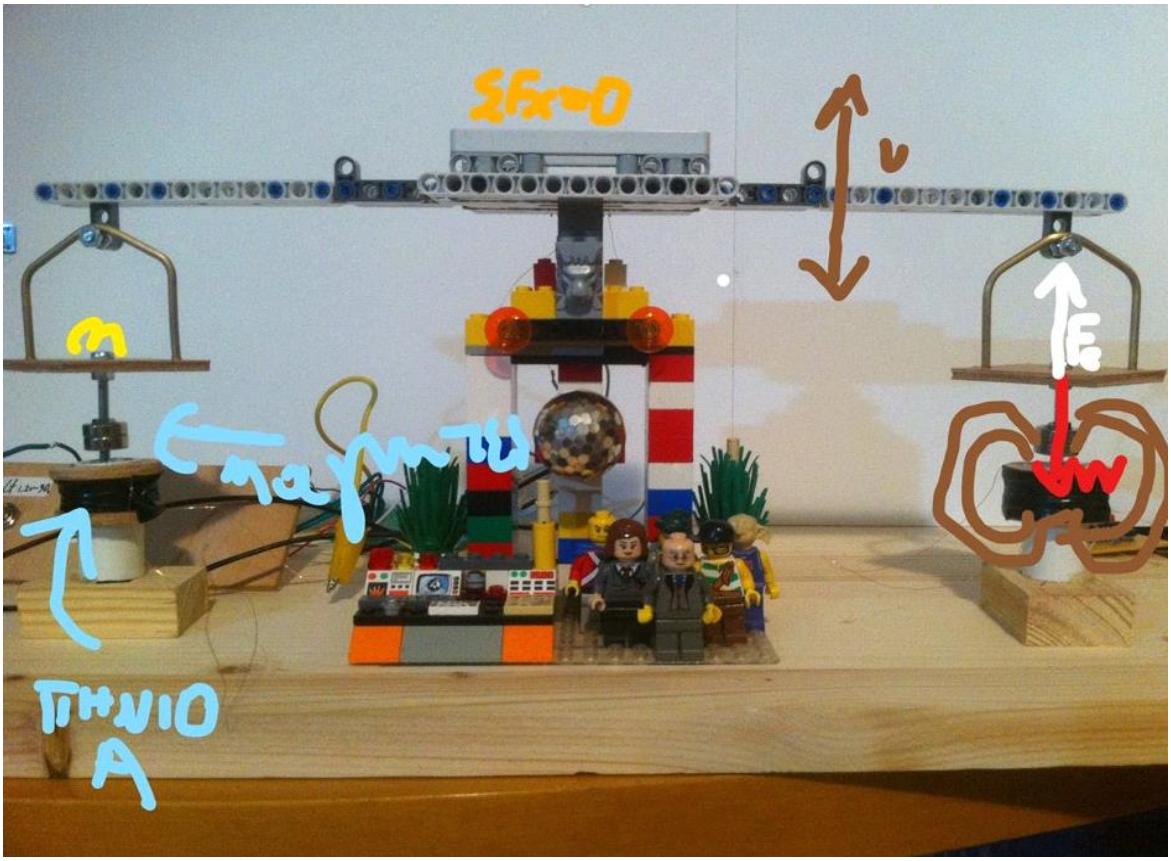
Σχήμα 1: Η αλλοίωση της μάζας κατά το πέρασμα των χρόνων

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στα πλαίσια της εργασίας, χρησιμοποιώντας τα υλικά που παρουσιάζονται στον πίνακα 1, κατασκευάσαμε έναν ζυγό Watt Balance (σχ.2) ο οποίος αποτελείται από μία πλατφόρμα σε κάθε άκρο του. Στην μια από αυτές τοποθετούμε το αντικείμενο το οποίο θέλουμε να ζυγίσουμε. Κάτω από τις πλατφόρμες στηρίζονται δυο βίδες στις οποίες έχουν τοποθετηθεί 2 μαγνήτες οι οποίοι απωθούνται για να αυξήσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Οι μαγνήτες κάθε άκρου παρεμβάλλονται μέσα σε πηνίο με το κάθε ζεύγος μαγνητών ξεχωριστά. Στη συνέχεια, τοποθετούμε

έναν χάρακα κάθετα με το επίπεδο για να μετρήσουμε την απόσταση που διανύει ο ζυγός στον άξονα y'y. Επιπλέον, παίρνουμε μετρήσεις από έναν αισθητήρα (Arduino) με σκοπό να μετρήσουμε την κλίση του ζυγού (Σfx=0).Τέλος, χρησιμοποιούμε ένα ψηφιακό αμπερόμετρο για τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος, ένα ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό (1.2v-30v) για την τροφοδοσία του πηνίου Α, μια γεννήτρια συχνοτήτων για την τροφοδοσία του πηνίου Β και έναν παλμογράφο για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.

Εικόνα 2: Απεικόνιση του watt balance



\

Ζυγός από τουβλάκια Lego	Τροδοφοτικό 1-30V (Lm317)
Χαλκός (πηνιόσυρμα)	Αναλογικός παλμογράφος
Σωλήνας PVC	Γεννήτρια συχνοτήτων
Arduino Pro Mini (Accelerometer Sensor)	Αμπερόμετρο Βολτόμετρο
Μαγνήτες νεοδυμίου 1300 Tesla N35	Υπολογιστής

Πίνακας 1: Υλικά κατασκευής

Στο συγκεκριμένο πείραμα προσπαθήσαμε να διαπιστώσουμε αν η τιμή της μάζας ενός αντικειμένου όπως βρέθηκε από μια συμβατική ζυγαριά, ταυτίζεται με την τιμή που υπολογίζεται με το ζυγό watt balance.

Αρχικά τροφοδοτούμε (1° mode) με συνεχή τάση το πηνίο Α δημιουργώντας έναν ηλεκτρομαγνήτη. Το πηνίο αντιδρά στο υπαρκτό μαγνητικό πεδίο των μαγνητών παράγοντας δύναμη Laplace Fel=BLI με κατεύθυνση αντίθετη της βαρυτικής δύναμης W=mg. Στη συνέχεια μετράμε την ένταση του ρεύματος (I Amper) ώστε να ισορροπεί ο άξονας του ζυγού Σfx=O ή BLI = mg . Τοποθετούμε το αντικείμενο που θέλουμε να μετρήσουμε στο δίσκο με το πηνίο Α. Αυξάνουμε την τάση(DC) στο πηνίο Α έχοντας σε σειρά ένα αμπερόμετρο(I) ώστε η ζυγαριά να ισορροπήσει. Με τη βοήθεια του arduino και ενός αισθητήρα έχουμε τη δυνατότητα να γνωρίζουμε την κλίση του άξονα της ζυγαριάς.

Έπειτα τροφοδοτούμε με εναλλασσόμενο ρεύμα (2° mode) το πηνίο Β έτσι ώστε το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη να αντιδρά με το μαγνητικό πεδίο του πηνίου. Η αντίδραση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη ταλάντωση του άξονα της ζυγαριάς και βρίσκουμε την ταχύτητα της ταλάντωσης του άξονα . Ταυτόχρονα, σύμφωνα με το νόμο της επαγωγής του Faraday στο πηνίο Α θα παραχθεί τάση V=BLv την οποία θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της μάζας. Αφαιρούμε το αντικείμενο από την ζυγαριά και δίνουμε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) στο πηνίο Β. Μετράμε την τάση του πηνίου Α κορυφή με κορυφή (Vp-p) και την περίοδο της συχνότητας(T) από τον παλμογράφο. Στην συνέχεια, τοποθετώντας έναν χάρακα παράλληλα με την κορυφή του ζυγού και χρησιμοποιώντας κάμερα αργής κίνησης (240 FPS) μετρώντας τις δύο ακρότατες θέσεις που παίρνει ο ζυγός παίρνουμε την μετατόπιση (Δχ).Τέλος, αφού μετρήσουμε τον χρόνο (Δt) χρησιμοποιώντας έναν αναλογικό παλμογράφο (Ms.Div) καταλήγουμε στον λόγο u=Δx/Δt.

Η μέτρηση της μάζας θα γινόταν απλά εάν εκτελούσαμε το 1° mode, αλλά ένα πρόβλημα που προέκυψε ήταν ότι δεν μπορούσαμε να μετρήσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου (B) και το μήκος του πηνιοσύρματος (L) με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι η σχέση BLI = mg δεν μας έδινε το ζητούμενο αποτέλεσμα. Συνδυάζοντας όμως τις εξισώσεις απαλείφεται το γινόμενο BL και καταλήγει στον τύπο m=VI/vg, όπως φαίνεται παρακάτω:

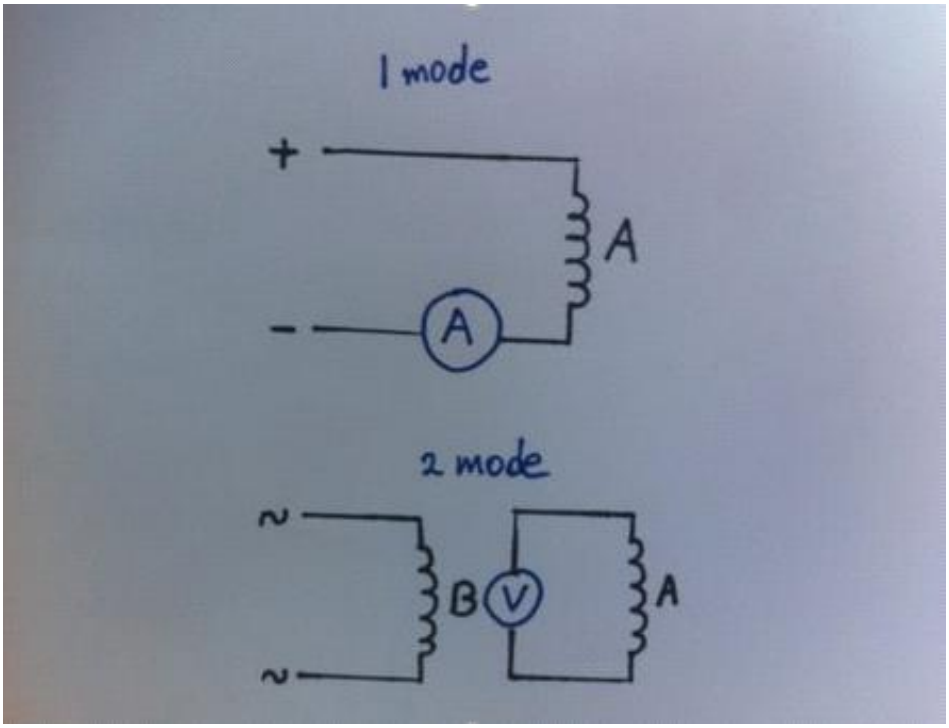
1° Mode

mg = BLI => mg/I=BL

2° Mode

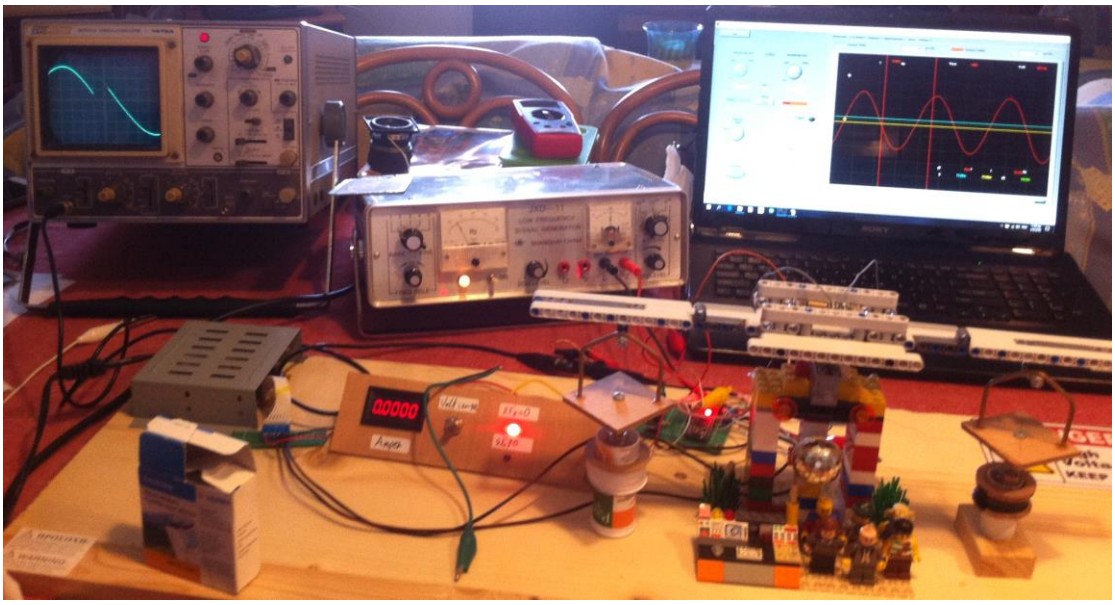
V = BLv => V/v=BL

mg/I=V/v => m=VI/vg



Σχήμα 3: α) Απεικόνιση πηνίου A και αμπερομέτρου συνδεδεμένα σε σειρά (Συνεχές ρεύμα)

β) απεικόνιση και του πηνίου A συνδεδεμένο με ένα βολτόμετρο (Εναλλασσόμενο ρεύμα)



Εικόνα 2: Απεικόνιση του εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε για την μέτρηση της μάζας

Σύμβολο	Μονάδα S.I	Ονομασία
F	Hz	Συχνότητα
Fel	N	Δύναμη
Vp-p	Volt	Τάση(Κορυφή-Κορ)
B	Tesla	Ένταση Μαγν. Πεδ.
L	Meter	Μήκος
V	Volt	Τάση
I	Amper	Ένταση
u	m/s	Ταχύτητα
T	Second	Περίοδος
X	Meter	Μετατόποιση
g	m/s/s	Βαρυτική Επιτάχ.
m	kg	Μάζα
Div	Κουτάκια Παλμογρ	Τμήματα

Πίνακας 2: Υπόμνημα των μονάδων που συναντήσαμε

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεθοδολογία υπολογισμού της μάζας ενός αντικειμένου με βάση τις μετρήσεις που προκύπτουν στο τέλος του πειράματος. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν και τα αποτελέσματα του Πίνακα 3 στον οποίο παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές μάζας με συμβατική ζυγαριά και ζυγό watt balance.

M=0,010kg

- ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
- V=0,1v x 2_{DIV}=0,2V
- T=50ms x 5_{DIV}=250ms=0,25sec
- X=8mm=0,008m
- I=0,0167A
- ΣΤΑΘΕΡΑ
- g=9,793m/s/s
- ΤΑΧΥΤΗΤΑ
- U=X/T=0,008/0,25=0,032m/s

- ΜΑΖΑ
- m=VI/ug=0,2x0,0167/0,032x9,793
- **m=0,01065812kg**

Εικόνα 3: Υπόδειξη μίας μέτρησης μάζας m=0,010 kg

Συμβατική ζυγαριά	Ζυγός watt balance
0,010 kg	0,01065812 kg
0,008 kg	0,00874349 kg
0,025 kg	0,02584754 kg

Πίνακας 3. Σύγκριση τιμών μάζας με συμβατική ζυγαριά και ζυγό watt balance

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Έπειτα από πολλαπλές μετρήσεις καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η μάζα μπορεί να μετρηθεί με τεράστια ακρίβεια χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρικά μεγέθη τάση V, ένταση του ρεύματος I.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους διοργανωτές του συνεδρίου για την ευκαιρία που μας έδωσαν να συμμετέχουμε σε ένα επιστημονικό συνέδριο αλλά και τον καθηγητή μας για τη συνεχή στήριξη σε αυτό το έργο μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Βλάχος, Ι.Α., Γραμματικάκης, Ι.Γ, Καραπαναγιώτης, Β.Α., Κόκκοτας, Π.Β., Περιστερόπουλος, Π.Ε., Τιμοθέου, Γ.Β. (2017). Φυσική Γενικής Παιδείας Α΄Λυκείου. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και εκδόσεων «Διόφαντος».
[2] Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ.(2017). Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών Β΄τάξη Γενικού Λυκείου. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και εκδόσεων «Διόφαντος».
[3] Becker, P., Bettin, H., Danzebrink, U., Gläser, M., Kuetgens, U., Nicolaus, A., Schiel, D., De Bièvre, S., Taylor, P.(2003). Determination of the Avogadro constant via the silicon route. Metrologia, 40, 271–287.
[4] Genevès, G., Gournay, P., Gosset, A.,Lecollinet, M., Villar, F., Pinot, P., Juncar, P., Clairon, A.,Landragin, A., Holleville, D., Dos Santos, F.P., Alves F., Chassagne, L.,Topçu, S.(2005, April). The BNM Watt Balance Project. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 54(2).
[5] Girard, G. (1994). The third periodic verification of national prototypes of the kilogram (1988–1992). Metrologia, 31, 317–336.
[6] Gläser, M. (2003). Tracing the atomic mass unit to the kilogram by ion accumulation. Metrologia, 40, 376–386.
[7] Kibble, B.P. (1976). A measurement of the gyromagnetic ratio of the proton by the strong field method. J. H. Sanders and A. H.Wapstra, Eds. New York: Plenum, 1976, 545–551.