ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

ΧΗΜΕΙΑ Γ΄ ΛΥΚΕΙΟΥ ΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ

Εύρεση της τάξης της αντίδρασης Zn με διάλυμα HCl
Καμπύλη αντίδρασης και σύγκριση με το θεωρητικό μοντέλο

Λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών εξαιτίας της πανδημίας, η παρούσα εκδοχή της εργαστηριακής άσκησης περιλαμβάνει την βιντεοσκόπηση της πειραματικής διαδικασίας και παράθεση των μετρήσεων για επεξεργασία από τους μαθητές.
Το βίντεο θα βρείτε στο σύνδεσμο https://youtu.be/iaCsDXa-ROw

Απαραίτητα όργανα και χημικές ουσίες:

- Ρινίσματα Zn
- Κωνική φιάλη
- Ποτήρι ζέσεως
- Ογκομετρικός κύλινδρος 250ml
- Ογκομετρικός κύλινδρος 100ml
- Ογκομετρικός κύλινδρος 10ml
- Διάλυμα HCl 10M
- Απιονισμένο νερό
- Εύκαμπτος πλαστικός σωλήνας
- Μεγάλη γυάλινη λεκάνη
- Μικρή γυάλινη λεκάνη

Προετοιμασία του πειράματος:

Παρασκευή δύο διαλυμάτων HCl με την ίδια ποσότητα HCl και λόγο συγκεντρώσεων 1:2.

1. Με τον ογκομετρικό κύλινδρο των 10 ml μετράμε 4 ml διαλύματος HCl 10M (το πυκνό διάλυμα HCl που διαθέτουν τα εργαστήρια των σχολείων, με συγκέντρωση ίσως λίγο μεγαλύτερη από 10 M, αλλά αυτό δεν επηρεάζει τα συμπεράσματα). Μεταφέρουμε την ποσότητα αυτή στον ένα ογκομετρικό κύλινδρο των 100ml και συμπληρώνουμε με νερό μέχρι τα 100 ml (ξεπλένουμε πρώτα μερικές φορές τον κύλινδρο των 10 ml).

   Αφού καταστήσουμε το διάλυμα απολύτως ομογενές μεταγγίζοντάς του μερικές φορές μεταξύ δύο ποτηριών ζέσεως, το μοιράζουμε στους δύο ογκομετρικούς κυλίνδρους των 100 ml. Στον ένα από τους δύο συμπληρώνουμε με νερό μέχρι τα 100 ml – διάλυμα Δ1 ενώ τον άλλο τον αφήνουμε ως έχει – διάλυμα Δ2. Έτσι έχουμε:

   Διάλυμα Δ1: 0,2M – 100 ml – 0,02 mol HCl

   Διάλυμα Δ2: 0,4M – 50 ml – 0,02 mol HCl

2. Στην κωνική φιάλη προσθέτουμε ρινίσματα Zn και φροντίζουμε η ποσότητα να είναι τόση ώστε να μπορεί να καλυφθεί από 50 ml νερό. Αδειάζουμε το νερό και προσθέτουμε ποσότητα HCl το οποίο αφήνουμε να αντιδράσει με τον Zn για περίπου ένα λεπτό. Στη συνέχεια ξεπλένουμε τα ρινίσματα με νερό στεγνώνουμε με απορροφητικό χαρτί και τα ξαναρίχνουμε στην κωνική φιάλη.

3. Στην μεγάλη γυάλινη λεκάνη προσθέτουμε νερό μέχρι λίγο πάνω από τη μέση. Γεμίζουμε τον ογκομετρικό κύλινδρο των 250 ml με νερό και κλείνοντας το ανοικτό άκρο με την παλάμη μας τον αναποδογυρίζουμε και βυθίζουμε το ανοικτό άκρο στο νερό της λεκάνης. Βγάζουμε το χέρι μας και στερεώνουμε μέσω λαβίδας στον ορθοστάτη ώστε το ανοικτό άκρο του κυλίνδρου να είναι βυθισμένο στο νερό 3-4 cm.

4. Στο πλαϊνό στόμιο της κωνικής φιάλης προσαρμόζουμε αεροστεγώς τον πλαστικό σωλήνα και το άλλο άκρο του το οδηγούμε στο εσωτερικό του αναποδογυρισμένου ογκομετρικού κυλίνδρου των 250 ml.
5. Στην μικρή γυάλινη λεκάνη βάζουμε νερό μέχρι λίγο πάνω από τη μέση και βυθίζουμε σ' αυτό το κάτω μέρος της κωνικής φιάλης κατά 3-4 cm. Στερεώνουμε την φιάλη χρησιμοποιώντας ορθοστάτη και λαβίδα.

Πείραμα 1

Προσθέτουμε το διάλυμα Δ1 στην κωνική φιάλη, πωματίζουμε πολύ καλά και ξεκινάμε τη χρονομέτρηση.

Για κάθε 25 ml H_2 που μαζεύεται στον κύλινδρο σημειώνουμε τον χρόνο και σημειώνουμε τις μετρήσεις στον πίνακα.

Στην παρούσα εκδοχή της άσκησης έχουν ληφθεί οι μετρήσεις και δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πείραμα 2

Αφού ξεπλύνουμε τα ρινίσματα και τα ξαναβάλουμε στην κωνική φιάλη. Ξαναγεμίζουμε τον ογκομετρικό κύλινδρο, τον τοποθετούμε στη θέση του και επαναλαμβάνουμε με το διάλυμα Δ2.

Οι μετρήσεις:

Διάλυμα Δ1		**Διάλυμα Δ2**	
$t(s)$	$V_{H_2}(L)$	$t(s)$	$V_{H_2}(L)$
0	0,000	0	0,000
160	0,025	80	0,025
340	0,050	170	0,050
550	0,075	265	0,075
785	0,100	380	0,100
1060	0,125	510	0,125
1380	0,150	665	0,150
1820	0,175	855	0,175
2510	0,200	1105	0,200

Καμπύλη αντίδρασης

Στο μιλλιμετρικό χαρτί που θα βρείτε στο τέλος του φύλλου εργασίας, αποτυπώστε τις μετρήσεις για τα δύο πειράματα και σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις.

Χαράξτε την εφαπτόμενη σε κάθε καμπύλη στο σημείο που αντιστοιχεί στην στιγμή t=0 και υπολογίστε την κλίση της. Αυτή θα είναι η αρχική ταχύτητα παραγωγής H_2.

$$\upsilon_{01} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\upsilon_{02} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Συγκρίνοντας τις ταχύτητες που υπολογίσατε ποιο συμπέρασμα προκύπτει για την τάξη της αντίδρασης;

…………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………………

Ερώτηση: Για ποιο λόγο η κωνική φιάλη στην οποία πραγματοποιείται η αντίδραση βυθίζεται στο νερό;

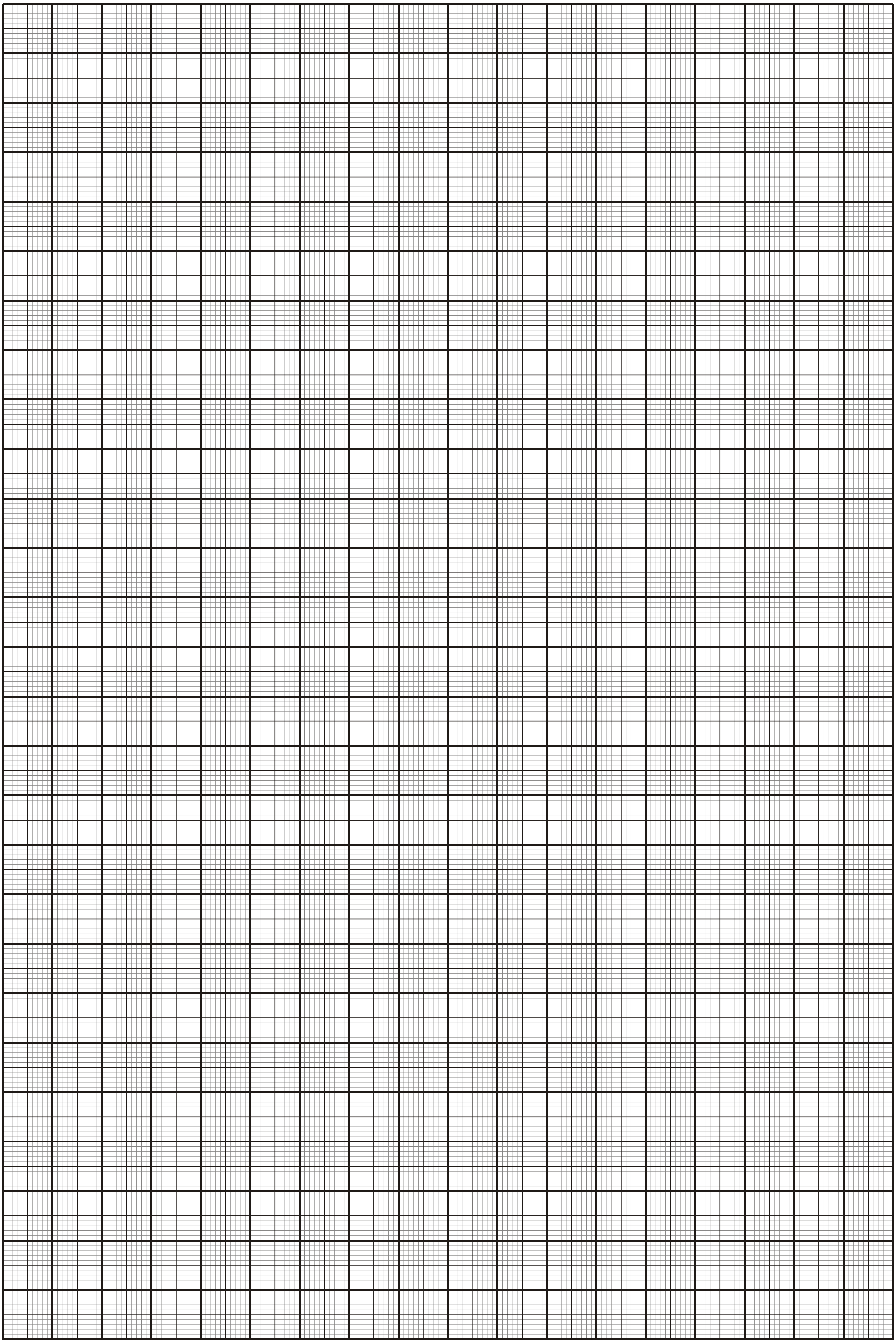
…………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………………

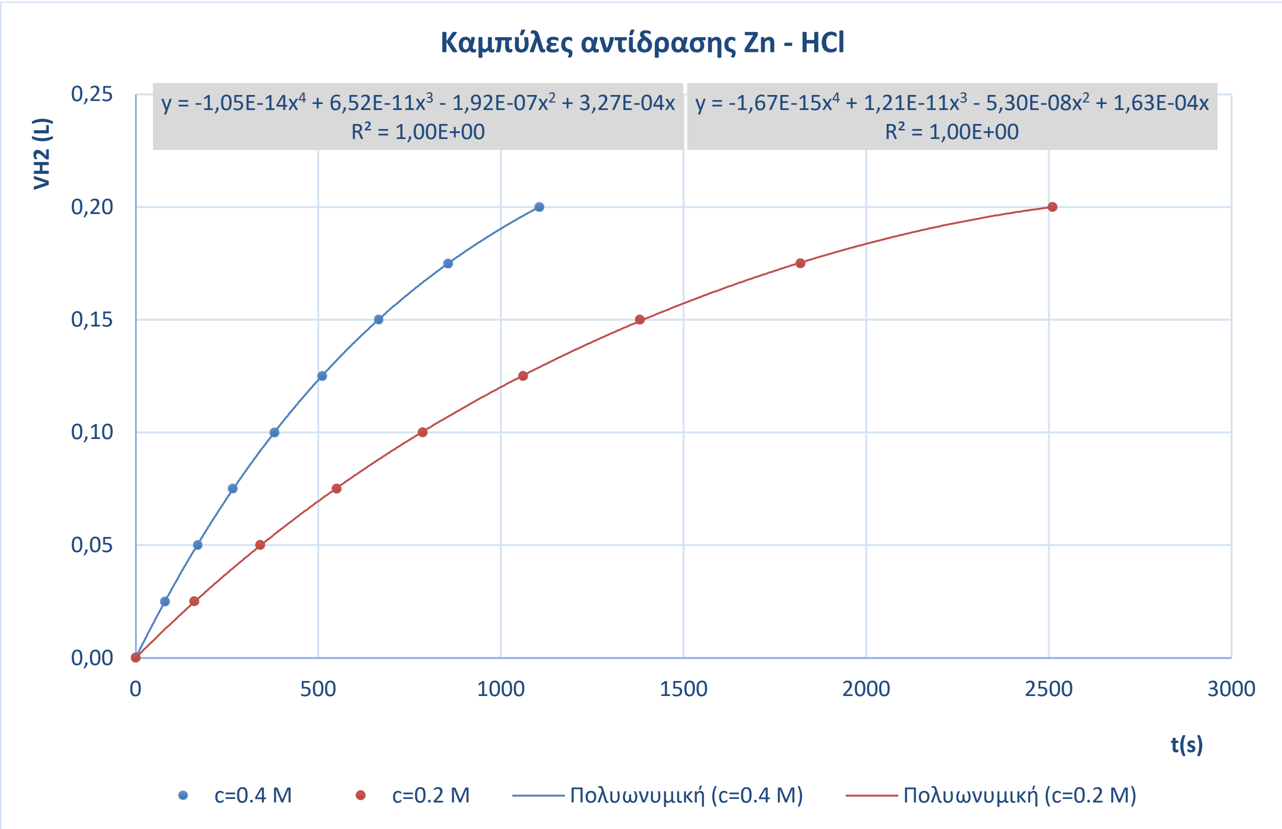
Καλή επιτυχία



Η ανάλυση που ακολουθεί απευθύνεται σε μαθητές με αυξημένο ενδιαφέρον και σε συναδέλφους

Ένας πιο εύκολος τρόπος

Εισάγουμε τις μετρήσεις σε φύλλο εργασίας του ms-excel. Δημιουργούμε το αντίστοιχο γράφημα και επιλέγοντας εισαγωγή γραμμής τάσης παρατηρούμε ότι πετυχαίνουμε πολύ καλή συσχέτιση των πειραματικών αποτελεσμάτων με πολυωνυμική συνάρτηση $4^{ου}$ βαθμού.



Η εισαγωγή της συνάρτησης στο γράφημα μας επιτρέπει να υπολογίσουμε εύκολα την ταχύτητα παραγωγής H_2 την χρονική στιγμή t=0. Συγκεκριμένα η αρχική ταχύτητα παραγωγής H_2 είναι τιμή της παραγώγου της συνάρτησης για t=0 η οποία δίνεται από το συντελεστή του πρωτοβάθμιου όρου.

Άρα,

$$\left.\frac{dV_{H_2}}{dt}\right|_{t=0}^{c=0.2M} = 1,63\cdot 10^{-4}\frac{L}{s} = 0,163\frac{mL}{s}$$

και

$$\left.\frac{dV_{H_2}}{dt}\right|_{t=0}^{c=0.4M} = 3,27\cdot 10^{-4}\frac{L}{s} = 0,327\frac{mL}{s}$$

Η αρχική ταχύτητα είναι ξεκάθαρα ανάλογη της συγκέντρωσης του HCl και επομένως η αντίδραση είναι πρώτης τάξης.

Μια διαφορετική προσέγγιση

Σύγκριση των αποτελεσμάτων ενός και μόνο πειράματος με τη θεωρητική πρόβλεψη

Έστω, $\upsilon = k \cdot c_{HCl}$ ο νόμος της ταχύτητας της συγκεκριμένης αντίδρασης, θεωρώντας ότι είναι πρώτης τάξης. Η εξίσωση προς επίλυση θα είναι η $-\frac{1}{2}\frac{dc_{HCl}}{dt} = kc_{HCl}$ ή $\frac{dc_{HCl}}{dt} = -2kc_{HCl}$. Η επίλυση είναι στοιχειώδης και η λύση που προκύπτει για την συγκέντρωση του HCl σαν συνάρτηση του χρόνου είναι η,

$$c_{HCl} = c_0 e^{-2kt} \qquad (1)$$

όπου c_0 η αρχική συγκέντρωση.

Με βάση την τελευταία προκύπτει εύκολα η εξίσωση του όγκου του παραγόμενου H_2 σαν συνάρτηση του χρόνου. Συγκεκριμένα,

$$V_{H_2} = \frac{1}{2}\left(n_{0(HCl)} - n_{HCl}\right)V_{mol} \text{ ή } V_{H_2} = \left(c_0 - c_{HCl}\right)\frac{V_{mol}V_{\delta\iota\alpha\lambda}}{2}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την (1), βρίσκουμε τελικά,

$$V_{H_2} = V_0\left(1 - e^{-2kt}\right) \qquad (2)$$

όπου V_0 ο τελικός όγκος του H_2.

Αναπτύσσοντας το εκθετικό κατά taylor, ($e^x = \sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} + \cdots$) και κρατώντας μέχρι τον τεταρτοβάθμιο όρο προκύπτει,

$$V_{H_2} = 2V_0kt - 2V_0k^2t^2 + \frac{4V_0k^3t^3}{3} - \frac{2V_0k^4t^4}{3} \qquad (3)$$

Συγκρίνοντας την τελευταία εξίσωση που προκύπτει θεωρητικά, με την εξίσωση που παράγει το excel με βάση τα πειραματικά σημεία και τις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, θα προσδιορίσουμε τις σταθερές και θα ελέγξουμε την συμφωνία θεωρίας και πειράματος. Η εξίσωση που αντιστοιχεί στο πρώτο πείραμα είναι,

$$V_{H_2(\pi\varepsilon\iota\rho)} = 1,63\cdot10^{-4}t - 5,30\cdot10^{-8}t^2 + 1,21\cdot10^{-11}t^3 - 1,67\cdot10^{-15}t^4 \qquad (4)$$

Σύμφωνα με τον πρωτοβάθμιο και δευτεροβάθμιο όρο των (3) και (4) έχουμε:

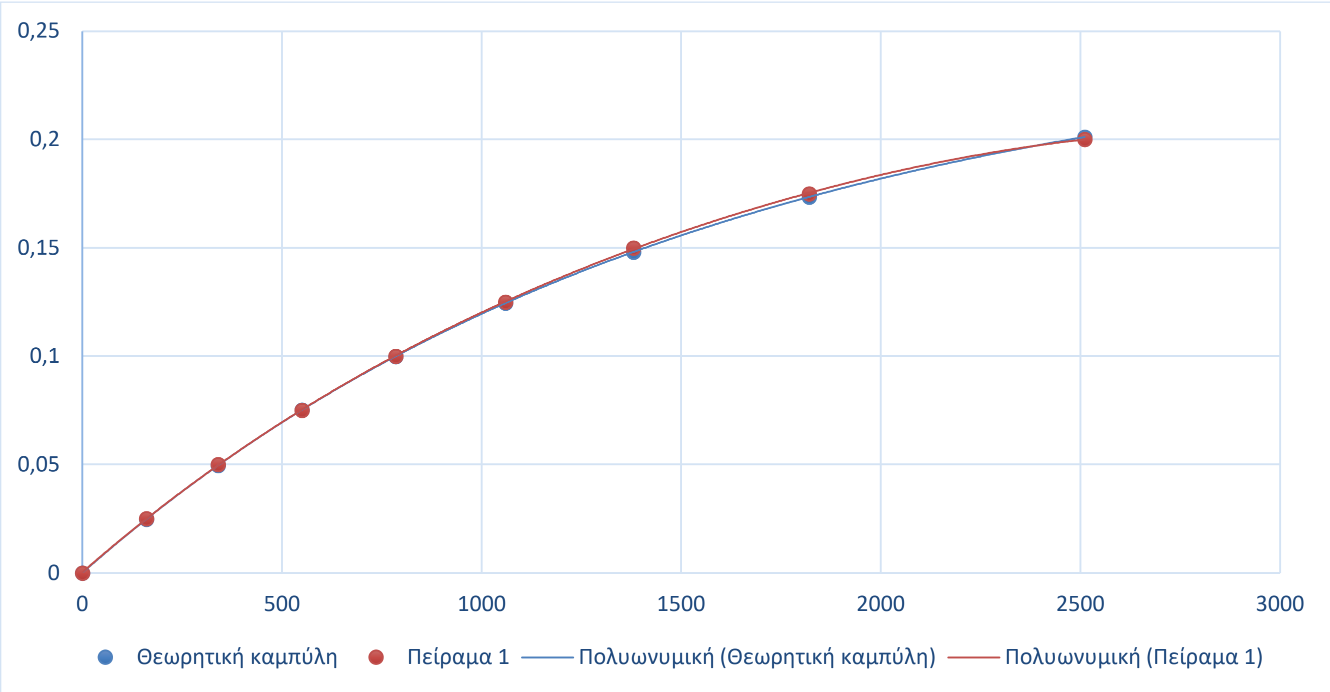
$$\left.\begin{aligned} 2V_0k &= 1,63\cdot10^{-4} \\ 2V_0k^2 &= 5,30\cdot10^{-8} \end{aligned}\right\} \Rightarrow k = 3,25\cdot10^{-4}s^{-1},\ V_0 = 0,25L$$

Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές υπολογίζουμε τις θεωρητικές τιμές των συντελεστών του τριτοβάθμιου και του τεταρτοβάθμιου όρου από την εξίσωση (3).

$$\frac{4V_0k^3}{3}=1,15\cdot10^{-11} \text{ και } \frac{2V_0k^4}{3}=1,87\cdot10^{-15}$$

Παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι πολύ κοντά με αυτές της εξίσωσης (4) και επομένως τα πειραματικά αποτελέσματα επαληθεύουν σε πολύ καλό βαθμό το θεωρητικό μοντέλο.

Τη συμφωνία του θεωρητικού μοντέλου με το πείραμα μπορούμε να δούμε επίσης κάνοντας σε κοινό διάγραμμα τις γραφικές παραστάσεις της εξίσωσης (2) και αυτήν του πειράματος 1. Η ταύτιση είναι εντυπωσιακή.



Νοέμβριος 2020

Σπύρος Χόρτης – Υπ. ΕΚΦΕ Λευκάδας