

Η ιξωδοελαστικότητα (συνδυασμός ιξώδους ρευστού και ελαστικότητας) ενός νήματος από πολυμερές.

Προσοχή! Το νήμα πρέπει να είναι χαλαρό πριν αρχίσετε το πείραμα. Να ενεργοποιήσετε τη ζυγαριά τώρα (επειδή χρειάζεται δέκα λεπτά για να θερμανθεί). Μην αλλάξετε τις ρυθμίσεις κλίμακας της ζυγαριάς.

Εισαγωγή

Όταν σε ένα στερεό υλικό δρα μια εξωτερική δύναμη, το στερεό παραμορφώνεται. Όταν η δύναμη που δρα σε αυτό είναι μικρή (κάτω από το όριο ελαστικότητας) τότε η παραμόρφωση όχι μόνο είναι ανάλογη με τη δύναμη (νόμος του Hook), αλλά είναι και ελαστική (αναστρέψιμη), έτσι ώστε το υλικό να ανακάμει το αρχικό του σχήμα όταν σταματήσει να δέχεται την επίδραση της εξωτερικής δύναμης.

Για ένα στερεό, η περιγραφή εκφράζεται πιο εύκολα χρησιμοποιώντας τις έννοιες τάση εφελκυσμού και σχετική παραμόρφωση. Η τάση εφελκυσμού σ ορίζεται ως η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, όπως προκύπτει από το πηλίκο της δύναμης F προς το εμβαδόν της επιφάνειας S , στην οποία δρα η δύναμη ενώ η σχετική παραμόρφωση, ϵ , περιγράφει την σχετική αλλαγή στο μήκος του στερεού.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{and} \quad \epsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}, \quad (1)$$

όπου ℓ είναι το τελικό μήκος και ℓ_0 είναι το φυσικό μήκος του στερεού. Στην απλή ελαστική συμπεριφορά, η τάση εφελκυσμού είναι ευθέως ανάλογη με την σχετική παραμόρφωση $\sigma = E \epsilon$ (νόμος του Hook) και ο συντελεστής αναλογίας, E , ονομάζεται μέτρο Ελαστικότητας του Young.

Η ελαστική συμπεριφορά όπως αυτή εκφράζεται από τον νόμο του Hooke είναι μια προσέγγιση που ισχύει μόνο για αρκετά μικρές σχετικές παραμορφώσεις. Για μεγαλύτερες σχετικές παραμορφώσεις οι αλλαγές γίνονται σταδιακά μη αναστρέψιμες (πλαστικές) αφού ξεφεύγουμε από την περιοχή στην οποία το στερεό συμπεριφέρεται ελαστικά. Στην περίπτωση αυτή οι μοριακές κινήσεις γίνονται χωρίς περιορισμούς, προσεγγίζοντας τις κινήσεις των μορίων σε ένα ιξώδες ρευστό. Αν δηλαδή το σώμα τεντωθεί ή συμπιεστεί πέρα από το όριο ελαστικότητας, τότε τείνει ασυμπτωτικά να συμπεριφερθεί ως υγρό.

Ιξωδοελαστικά υλικά

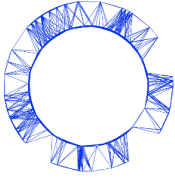
Ορισμένα υλικά συνδυάζουν χαρακτηριστικά ενός ελαστικού στερεού με χαρακτηριστικά ενός ιξώδους ρευστού, είναι λοιπόν γνωστά ως ιξωδοελαστικά.

Μελετώντας ένα ιξωδοελαστικό υλικό είναι λογικό να θεωρήσουμε ξεχωριστά την καθαρά ελαστική συμπεριφορά και την πρόσθετη συμπεριφορά ως υγρού με ιξώδες, οπότε η συνολική τάση εφελκυσμού σ προκύπτει από το άθροισμα του καθαρά ελαστικού όρου $\sigma_0 = E_0 \epsilon_0$ και του ιξωδοελαστικού όρου σ_1 . Η σχετική παραμόρφωση ϵ προκύπτει από την συνολική τάση εφελκυσμού σ .

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 \quad (2)$$

Υποτίθεται ότι και οι δύο όροι αντιστοιχούν στην ίδια σχετική παραμόρφωση ($\epsilon = \epsilon_0 = \epsilon_1$). Παρόλα αυτά η σχετική παραμόρφωση ϵ_1 , που αντιστοιχεί στην ιξωδοελαστική συμπεριφορά μπορεί να υπολογιστεί από ένα μοντέλο αθροίσματος δύο όρων. Ο ένας όρος προκύπτει από την σχετική παραμόρφωση

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

Q2-2

Greek (Greece)

λόγω της συμπεριφοράς ελαστικού στερεού και είναι ο $\epsilon_1^e = \sigma_1/E_1$, και ο άλλος όρος ο οποίος είναι ο ϵ_1^v , προκύπτει από την σχετική παραμόρφωση λόγω της συμπεριφοράς ρευστού με ιξώδες (και οι δύο υπόκεινται στην ίδια τάση εφελκυσμού $\sigma_1 = \sigma_1^e = \sigma_1^v$):

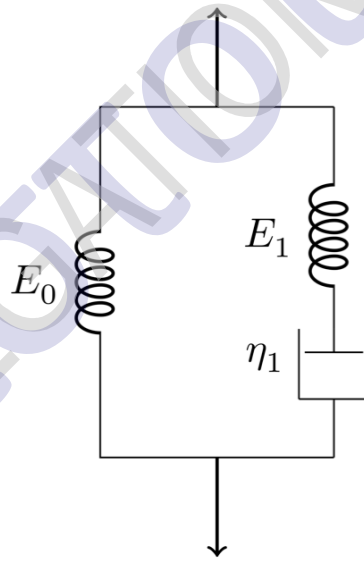
$$\epsilon_1 = \epsilon_1^e + \epsilon_1^v \quad (3)$$

Αναφερόμενοι αποκλειστικά στη συμπεριφορά υγρού με ιξώδες υπάρχει μια γραμμική σχέση ανάμεσα στην τάση εφελκυσμού και στην παράγωγο της σχετικής παραμόρφωσης ως προς το χρόνο. (Αντίστοιχη σχέση παρατηρείται και σε ιξώδη υγρά.)

$$\sigma_1 = \eta_1 \frac{d\epsilon_1^v}{dt},$$

όπου η_1 είναι ο συντελεστής ιξώδους.

Στην εικόνα 1 φαίνεται το τυπικό γραμμικό μοντέλο στερεού για την γραμμική ιξωδοελαστικότητα. Τα ελατήρια αντιστοιχούν στη συμπεριφορά του υλικού ως ελαστικό στερεό ενώ το έμβολο αντιστοιχεί στην συμπεριφορά του υλικού ως ιξώδες υγρό.



Εικόνα 1. Τυπικό γραμμικό μοντέλο στερεού για την γραμμική ιξωδοελαστικότητα

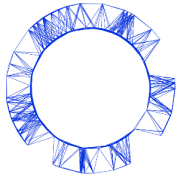
Απο τις προηγούμενες εξισώσεις προκύπτει η σχέση:

$$\frac{d\epsilon_1}{dt} = \frac{1}{E_1} \frac{d\sigma_1}{dt} + \frac{\sigma_1}{\eta_1} \quad (4)$$

Επομένως, με το τυπικό γραμμικό μοντέλο της ιξωδοελαστικότητας, είναι δυνατόν να αποδειχθεί ότι:

$$\sigma = E_0 \epsilon + \tau_1 (E_0 + E_1) \frac{d\epsilon}{dt} - \tau_1 \frac{d\sigma}{dt} \quad (5)$$

όπου $\tau_1 = \eta_1/E_1$. Αυτή η διαφορική εξίσωση δείχνει ότι η σχέση μεταξύ της σχετικής παραμόρφωσης και της τάσης εφελκυσμού δεν είναι πλέον γραμμική αλλά τόσο η σχετική παραμόρφωση όσο και η



τάση εφελκυσμού είναι συναρτήσεις του χρόνου. Για να υπολογιστεί ο όρος $\epsilon(t)$ είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο όρος $\sigma(t)$, και αντίστροφα.

Υπάρχουν δύο ειδικές περιπτώσεις πρακτικού ενδιαφέροντος. Η μια περίπτωση ονομάζεται *κατάσταση χαλάρωσης τάσης* και ισχύει $d\epsilon/dt = 0$ (σταθερή παραμόρφωση) και η άλλη ονομάζεται *κατάσταση ερπυσμού* και ισχύει $d\sigma/dt = 0$ (σταθερή τάση). Σε συνθήκες χαλάρωσης τάσης προκαλείται στο υλικό μια στιγμιαία παραμόρφωση η οποία διατηρείται σταθερή σε σχέση με το χρόνο ώστε $d\epsilon/dt = 0$ και μελετάται η μεταβολή της τάσης εφελκυσμού σε σχέση με το χρόνο $\sigma(t)$. Στην περίπτωση αυτή ο όρος $\sigma(t)$ εξαρτάται μόνο από τις ιξωδοελαστικές παραμέτρους του μέσου και η λύση της εξ. (5) είναι

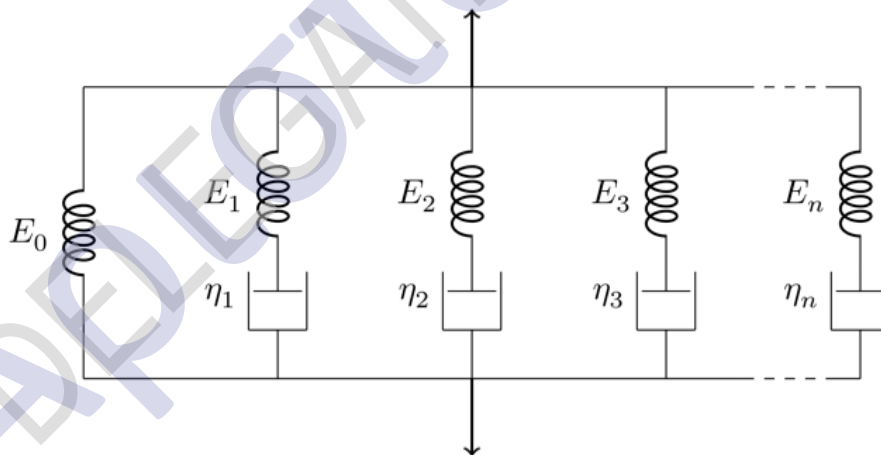
$$\sigma(t) = \epsilon(E_0 + E_1 e^{-t/\tau_1}) \quad (6)$$

όπου θεωρήθηκε ότι τη χρονική στιγμή $t = 0$ μόνο η συνιστώσα που σχετίζεται με τη συμπεριφορά ελαστικού στερεού συνεισφέρει στην τάση εφελκυσμού και ως εκ τούτου

$\sigma(t = 0) = \epsilon(E_0 + E_1)$. Από τη λύση αυτή προκύπτει ότι η ιξωδοελαστική τάση εφελκυσμού μειώνεται εκθετικά με το χρόνο και η μείωση αυτή χαρακτηρίζεται από μια σταθερά χρόνου τ_1 .

Διαδικασίες πολλαπλής ιξωδοελαστικότητας.

Το τυπικό γραμμικό μοντέλο μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει πολλές ιξωδοελαστικές διαδικασίες όπως προτείνετε και στην εικόνα 2.

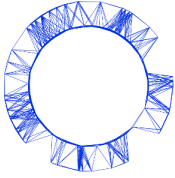


Εικόνα 2. Γενικευμένο μοντέλο για πολλαπλές ιξωδοελαστικές διαδικασίες.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη N διαφορετικά ιξωδοελαστικά συστατικά,

$$\sigma = \sigma_0 + \sum_k \sigma_k, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

όπου $\frac{d\epsilon_k}{dt} = \frac{1}{E_k} \frac{d\sigma_k}{dt} + \frac{\sigma_k}{\eta_k}$, και όπως παραπάνω, $\frac{d\epsilon_0}{dt} = \frac{d\epsilon_k}{dt} = \frac{d\epsilon}{dt}$.



Έτσι μπορεί να εφαρμοστεί η ακόλουθη γενίκευση της εξίσωσης (5):

$$\sigma = E_0 \epsilon + \eta_t \frac{d\epsilon}{dt} - \sum_k \tau_k \frac{d\sigma_k}{dt}, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

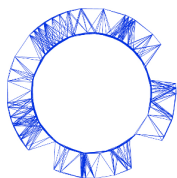
όπου $\eta_t = \sum_k \eta_k$, και $\tau_k = \eta_k / E_k$.

Σε συνθήκες σταθερής παραμόρφωσης οι διάφορες τιμές της τάσης εφελκυσμού μειώνονται εκθετικά με το χρόνο, $\sigma_k = A_k e^{-t/\tau_k}$, και έτσι προκύπτει η ακόλουθη λύση:

$$\sigma(t) = \epsilon \left(E_0 + \sum_k E_k e^{-t/\tau_k} \right), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

όπου θεωρήθηκε ότι τη χρονική στιγμή $t = 0$ στην τιμή της τάσης εφελκυσμού $\sigma_0 = \epsilon(E_0 + \sum_k E_k)$ συνεισφέρουν μόνο οι συνιστώσες που οφείλονται στη συμπεριφορά ελαστικού στερεού.

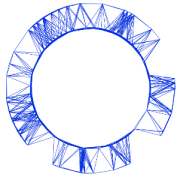
Η προκύπτουσα ιξωδοελαστική απόκριση προφανώς δεν είναι γραμμική.



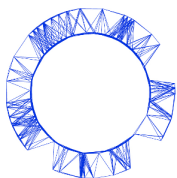
Εξοπλισμός

Σας παρέχεται ο ακόλουθος εξοπλισμός για να εκτελέσετε αυτή την πειραματική άσκηση: (βλ. εικόνα 3)

1. 1 ορθοστάτης με σύστημα για να στερεώσετε ένα δείκτη laser και ακόμα ένα σύστημα στήριξης για να στερεώσετε την άκρη του νήματος ώστε να τεντωθεί κατακόρυφα με σταθερή παραμόρφωση (επιμήκυνση).
2. 1 σετ κυλινδρικής μάζας που αποτελείται από ένα βαράκι σε σχήμα κυλίνδρου και μια βίδα για να στερεώσετε το νήμα.
3. 1 μακρύ νήμα από θερμοπλαστικό πολυουρεθάνης (TPU) με το ένα άκρο του προσδεμένο στο κυλινδρικό βαράκι και το άλλο του άκρο στερεωμένο σε μια βίδα για να αναρτηθεί στο σύστημα στήριξης.
4. 1 νήμα από θερμοπλαστικό πολυουρεθάνης (TPU) μικρού μήκους με το ένα άκρο του στερεωμένο σε μια βίδα.
5. 1 δείκτη laser και το αντίστοιχο σύστημα στήριξης.
6. 1 ψηφιακή ζυγαριά
7. 2 επίπεδα κάτοπτρα (καθρέφτες)
8. 1 χρονόμετρο
9. 1 χάρακα
10. 1 μεταλλική μετροταινία
11. 1 φύλλο χαρτιού A4 για να το χρησιμοποιήσετε ως οθόνη -πέτασμα.
12. 1 μανταλάκι για να σταθεροποιήσετε τον δείκτη laser και να τον ανάψετε.



Εικόνα 3. Εξοπλισμός για αυτή την πειραματική άσκηση.

**Μέρος Α: Μετρήσεις στην κατάσταση χαλάρωσης τάσης. (1.9 μονάδες)**

Προσοχή, το νήμα δεν πρέπει να είναι τεντωμένο πριν αρχίσετε την διεξαγωγή του πειράματος! Αν για κάποιο λόγο το νήμα που σας έχει δοθεί είναι τεντωμένο να ζητήσετε ένα επιπλέον, αλλά να θυμάστε ότι αυτό θα πάρει κάποιο χρόνο, μειώνοντας έτσι το χρόνο που έχετε στη διάθεσή σας για το πείραμα.

Πριν ξεκινήσετε την καταγραφή των μετρήσεων να διαβάσετε προσεκτικά τα βήματα που θα ακολουθήσετε στο "Μέρος D: Ανάλυση Δεδομένων". Με αυτό τον τρόπο θα οργανώσετε καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο θα πάρετε τις μετρήσεις σας.

A.1 Να μετρήσετε το μήκος του μη τεντωμένου νήματος μεταξύ των κεφαλών των βιδών. Για να καταγράψετε το συνολικό μήκος, ℓ_0 , του νήματος, συμπεριλαμβανομένου και του μήκους του νήματος που βρίσκεται στο εσωτερικό των βιδών, να προσθέσετε 5 mm για κάθε βίδα. Να καταχωρήσετε στο φύλλο απαντήσεων το μήκος ℓ_0 που μετρήσατε καθώς και την αβεβαιότητά της μέτρησής σας. 0.3pt

A.2 Να μετρήσετε το συνολικό βάρος του σετ της κυλινδρικής μάζας (μαζί με τη βίδα), P_0 , και να το εκφράσετε σε μονάδα μέτρησης gram - force (gf). Υπενθύμιση: 1 gram - force αντιστοιχεί στο βάρος μάζας 1 gr ($1 \text{ gf} = 9.80 \times 10^{-3} \text{ N}$). Στο Φύλλο Απαντήσεων να καταγράψετε τη μέτρησή σας και μια εκτίμηση της αβεβαιότητας. 0.3pt

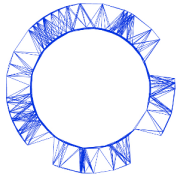
Για να παρατηρήσετε πειραματικά τις διάφορες συνιστώσες χαλάρωσης είναι απαραίτητο να καταγράψετε την τάση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ικανοποιητική η καταγραφή της μεταβολής της τάσης σε χρονικό διάστημα **45 λεπτών**.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να εκτελέσετε ταυτόχρονα δύο ενέργειες 1. και 2. Πριν ξεκινήσετε θα πρέπει να διαβάσετε προσεκτικά τις οδηγίες.

Προσοχή: Αν η πειραματική διαδικασία διακοπεί για οποιονδήποτε λόγο, θα πρέπει να ξαναρχίσετε την πειραματική διαδικασία με ένα νέο νήμα. Στην περίπτωση αυτή να ζητήσετε ένα επιπλέον νήμα.

Να εκτελέσετε, ταυτόχρονα, τις ακόλουθες ενέργειες:

1. Διατηρώντας το σετ της κυλινδρικής μάζας πάνω στη ζυγαριά, τεντώστε το νήμα έτσι ώστε η βίδα που βρίσκεται στο άλλο άκρο του νήματος να στερεωθεί στο σύστημα στήριξης που βρίσκεται στον ορθοστάτη (Εικόνα 4).
2. Ταυτόχρονα να ξεκινήσετε το χρονόμετρο.



Εικόνα 4. Το νήμα στερεώνεται στο σύστημα στήριξης και ταυτόχρονα αρχίζει η καταγραφή των μετρήσεων.

A.3 Να καταγράψετε, στον πίνακα του Φύλλου Απαντήσεων, τις ενδείξεις της ζυγαριάς, $P(t)$, και τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές, t , κατά τη διάρκεια των 45 λεπτών. 1.0pt

A.4 Να μετρήσετε το μήκος του τεντωμένου νήματος, ℓ , και να εκτιμήσετε την αβεβαιότητα της μέτρησής σας. Να γράψετε στο φύλλο απαντήσεων σας την τιμή του ℓ καθώς και την αβεβαιότητα της. 0.3pt

Μέρος Β: Μέτρηση της διαμέτρου του τεντωμένου νήματος. (1.3 μονάδες)

Μην κοιτάτε ποτέ απευθείας το laser. Να σβήνετε το laser όταν δεν το χρησιμοποιείτε. Αν δυσκολεύεστε να πάρετε εικόνα περίθλασης, σας παρακαλούμε να ζητήσετε ένα νέο laser.

Σε αυτό το μέρος θα χρησιμοποιήσετε την περίθλαση της ακτίνας laser για να υπολογίσετε τη διάμετρο του νήματος από πολυμερές.

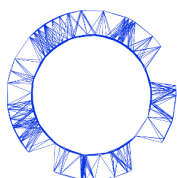
Η ονομαστική τιμή της διαμέτρου του μη τεντωμένου νήματος είναι 0.5 mm. Όπως ίσως γνωρίζετε η εικόνα περίθλασης μιας ορθογώνιας σχισμής πλάτους d είναι παρόμοια με την εικόνα περίθλασης ενός κυλινδρικού αντικειμένου με διάμετρο επίσης d .

Στο μακρινό πεδίο (Fraunhofer), όπου η εικόνα περίθλασης παρατηρείται σε μια οθόνη τοποθετημένη σε απόσταση πολύ μεγαλύτερη από τη διάμετρο του αντικειμένου, η απόσταση μεταξύ των σκοτεινών περιοχών που παρατηρούνται λόγω της περίθλασης, για προσέγγιση μικρής γωνίας, είναι η ίδια είτε η περίθλαση δημιουργείται από σχισμή είτε από κυλινδρικό αντικείμενο μικρής διαμέτρου και δίνεται από τη σχέση

$$d \sin \theta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (10)$$

όπου θ είναι η γωνία περίθλασης.

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

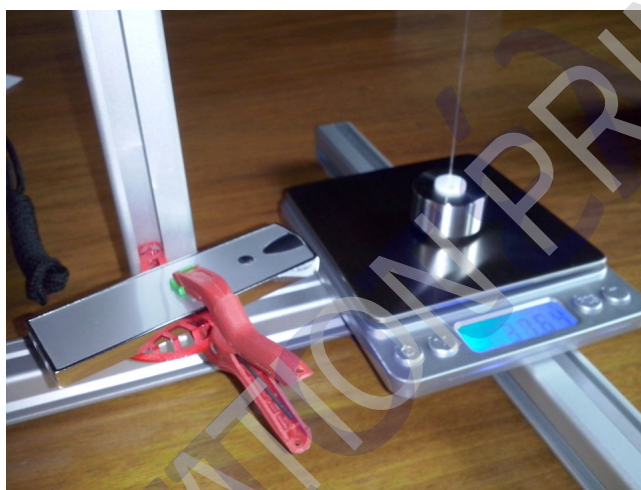
Q2-9

Greek (Greece)

Θα χρησιμοποιήσετε ακτίνα laser μήκους κύματος $\lambda = 650 \pm 10 \text{ nm}$.

Για να εκτελέσετε την πειραματική διαδικασία του μέρους αυτού να ακολουθήσετε την εξής πορεία:

1. Να χρησιμοποιήσετε το μανταλάκι για να ενεργοποιήσετε το laser. (Εικόνα 5).
2. Να προσανατολήσετε το laser ώστε η ακτίνα να κτυπά απευθείας στην τεντωμένη χορδή.
3. Χρησιμοποιώντας τα παρεχόμενα υλικά επινοήστε μια μέθοδο για την προβολή της εικόνας περίθλασης στο πέτασμα και για τη μέτρηση των τιμών που απαιτούνται ώστε να καθορίσετε τη διάμετρο του νήματος χρησιμοποιώντας τη σχέση 10.

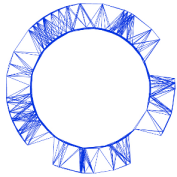


Εικόνα 5: Ενεργοποίηση του laser χρησιμοποιώντας το μανταλάκι.

B.1	Στο Φύλλο Απαντήσεων να σχεδιάσετε κατάλληλο σχήμα στο οποίο να φαίνεται η μέθοδος.	0.6pt
B.2	Να μετρήσετε την οπτική απόσταση, D , μεταξύ του νήματος και της προβολόμενης εικόνας περίθλασης. Να γράψετε τη μέτρησή σας στο φύλλο απαντήσεων μαζί με την εκτίμηση της αβεβαιότητάς της.	0.3pt
B.3	Να προσδιορίσετε την μέση απόσταση, $\bar{x}$, μεταξύ των σκοτεινών περιοχών καθώς και την αβεβαιότητα της μέτρησης. Να γράψετε την μέτρησή σας στο Φύλλο Απαντήσεων μαζί με την εκτίμηση της αβεβαιότητας της.	0.3pt
B.4	Εφαρμόζοντας τη σχέση (10) στα δεδομένα περίθλασης προσδιορίστε τη διάμετρο, d , του τεντωμένου νήματος από πολυμερές. Καταγράψτε τη στο Φύλλο Απαντήσεων μαζί με την εκτίμηση της αβεβαιότητας της.	0.3pt

Μέρος C: Μελέτη νέου νήματος (0.3 μονάδες)

Πριν προχωρήσετε στην επεξεργασία των μετρήσεων σας όπως αυτή περιγράφεται στο **(Μέρος D)** να ετοιμάσετε την πειραματική διάταξη για να λάβετε εκ νέου μετρήσεις για ένα νήμα μικρότερου μήκους **(Μέρος E)**



Να αποσυνδέσετε το σετ της μάζας από το άκρο του νήματος μεγάλου μήκους (ξεβιδώνοντάς το) και να το στερεώσετε σε εκείνο με το μικρό μήκος. (Να περάσετε το νήμα από την τρύπα και να το στερεώσετε με την βίδα βλ. Εικόνα 6)

Στην περίπτωση που δυσκολεύεστε να περάσετε το νήμα από την τρύπα να ζητήσετε βοήθεια.



Εικόνα 6. Μέθοδος στερέωσης του νήματος TPU στη βίδα.

- C.1** Να μετρήσετε το φυσικό μέγεθος του νήματος, ℓ_0 όπως και στο ερώτημα **A.1**. 0.3pt
Να καταγράψετε τη μέτρηση σας στο φύλλο απαντήσεων μαζί με την εκτίμησή σας για την αβεβαιότητα.

Στερεώστε το νέο νήμα στο κατάλληλο σημείο του ορθοστάτη ώστε να ασκείται σταθερή τάση από τη μάζα. Το νήμα τελικά θα αποκτήσει σταθερή σχετική παραμόρφωση που δίνεται από τη σχέση $\epsilon = \sigma/E$, καθώς εσείς επεξεργάζεστε τις μετρήσεις σας. **(το νήμα θα πρέπει να μείνει τεντωμένο για τουλάχιστον 30 λεπτά)**

Μέρος D: Επεξεργασία Μετρήσεων (5.7 μονάδες)

Να θεωρήσετε ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας στη Λισσαβώνα είναι $g = 9.80 \text{ ms}^{-2}$.

- D.1** Να υπολογίσετε την δύναμη, F , στο νήμα σε μονάδες gf, για όλες τις μετρήσεις σας και να συμπληρώσετε την αντίστοιχη στήλη του Πίνακα του ερωτήματος **A.3**. 0.3pt

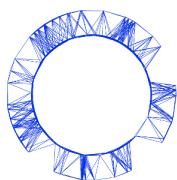
- D.2** Να χαράξετε τη γραφική παράσταση της δύναμης σε σχέση με το χρόνο $F(t)$ στο χιλιοστομετρικό χαρτί που υπάρχει στο Φύλλο Απαντήσεων. 0.4pt

Από τη στιγμή που η ζυγαριά είναι ακίνητη οι μετρήσεις μπορούν να θεωρηθούν ότι λήφθηκαν υπο σταθερή σχετική παραμόρφωση και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση (9). Ο λόγος $\frac{\sigma}{\epsilon}$ μπορεί να γραφεί ως $\frac{\sigma}{\epsilon} = \beta F$, όπου β είναι μια σταθερά. Συνεπώς

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = \beta F(t) = E_0 + E_1 e^{-t/\tau_1} + E_2 e^{-t/\tau_2} + E_3 e^{-t/\tau_3} + \dots \quad (11)$$

όπου το άθροισμα λήφθηκε με τη σειρά ($\tau_1 > \tau_2 > \tau_3 > \dots$)

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

Q2-11

Greek (Greece)

D.3 Να καθορίσετε την σταθερή σχετική παραμόρφωση ϵ , και την αντίστοιχη αβεβαιότητα. Να καταγράψετε την απάντησή σας στο Φύλλο Απαντήσεων μαζί με την εκτίμησή σας για την αβεβαιότητά της. 0.3pt

D.4 Να υπολογίσετε τον παράγοντα β , με την τιμή της τάσης εφελκυσμού σε μονάδες SI και την τιμή της δύναμης F σε μονάδες gf. Να καταγράψετε την απάντησή σας στο Φύλλο Απαντήσεων (δεν απαιτείται εκτίμηση αβεβαιότητας). 0.3pt

D.5 Παρατηρήστε τη γραφική παράσταση στο ερώτημα D.2 η οποία δεν μπορεί να εξηγηθεί θεωρώντας μόνο τη συμπεριφορά του υλικού ως ελαστικό στερεό. Να σχεδιάσετε ποιοτικά τη μορφή της γραφικής παράστασης της δύναμης σε σχέση με το χρόνο $F(t)$ στη περίπτωση που η συμπεριφορά του υλικού ήταν καθαρά ως ελαστικό στερεό. 0.4pt

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται απλούστερη αν χρησιμοποιήσουμε τον παράγοντα $\frac{dF}{dt}$ αντί του $F(t)$. Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι χαλάρωσης μπορούν να εξαχθούν με απλούς υπολογισμούς σε διαδοχικά στάδια. Αυτό μπορεί να γίνει είτε γραφικά είτε αριθμητικά. Στην απλούστερη περίπτωση που τα σημεία λήφθηκαν σε ίσα διαστήματα η αριθμητική τιμή της παραγώγου ενός παράγοντα $f(t)$ σε σημείο t_i , στο σύνολο μετρήσεων $(t_1, f_1), (t_2, f_2), (t_3, f_3), \dots$, δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση :

$$\left. \frac{df}{dt} \right|_i = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2h} \quad i = 2, \dots, N-1 \quad (12)$$

όπου h είναι το (σταθερό) διάστημα ανάμεσα στα σημεία και N είναι το πλήθος των σημείων.

Στην περίπτωση που τα διαστήματα ανάμεσα στα σημεία δεν είναι ίσα, τότε η αριθμητική τιμή της παραγώγου μπορεί να δοθεί κατά προσέγγιση από τη σχέση :

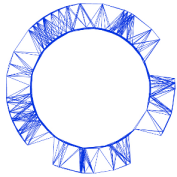
$$\left. \frac{df}{dt} \right|_i = \frac{h_-^2 f_{i+1} - h_+^2 f_{i-1} + (h_+^2 - h_-^2) f_i}{h_+^2 h_- + h_+ h_-^2} \quad i = 2, \dots, N-1 \quad (13)$$

όπου $h_+ = (t_{i+1} - t_i)$ και $h_- = (t_i - t_{i-1})$ και N είναι το πλήθος των σημείων. Η έκφραση αυτή εκφράζει τη μέση τιμή της παραγώγου από δεξιά και αριστερά σταθμισμένη με το αντίστροφο διάστημα του χρόνου.

Για να μπορέσετε να αναλύσετε τα δεδομένα και να εξαγάγετε τις σχετικές παραμέτρους θα πρέπει να ακολουθήσετε μια σειρά από βήματα. Έτσι, με δεδομένο το άθροισμα της σχέσης (11), να κάνετε τα ακόλουθα:

D.6 Να υποθέσετε ότι το ζεύγος τιμών διαρκεί για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του τ_2 και να υπολογίσετε την τιμή της παραγώγου $\frac{dF}{dt}$, για σημεία σε χρονικές στιγμές $t > 1000$ s. Να καταχωρήσετε τις τιμές στον πίνακα του ερωτήματος **A.3**. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιήσετε γραφική μέθοδο για να υπολογίσετε την τιμή της παραγώγου $\frac{dF}{dt}$, να χρησιμοποιήσετε το χιλιοστομετρικό χαρτί που βρίσκεται στο Φύλλο Απαντήσεων. 0.5pt

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

Q2-12

Greek (Greece)

D.7 Να γράψετε μια έκφραση για την αναμενόμενη σχέση της τιμής της παραγωγού $\frac{dF}{dt}$ με το χρόνο, στο Φύλλο Απαντήσεων για την περίπτωση μιας απλής ιξωδοελαστικής διαδικασίας. 0.3pt

D.8 Να χρησιμοποιήσετε γραφική μέθοδο και να εξάγετε τις τιμές των παραμέτρων E_1 και τ_1 σε μονάδες μέτρησης στο SI από τα ζεύγη τιμών που αναφέρονται στο ερώτημα **D.6**. Να γράψετε τις τιμές των E_1 και τ_1 στο φύλλο απαντήσεων. (δεν χρειάζεται η εκτίμηση αβεβαιότητας) 1.0pt

D.9 Να εξάγετε την τιμή της παραμέτρου E_0 σε μονάδες SI από τα ζεύγη τιμών που αναφέρονται στο ερώτημα **D.6**. Να γράψετε την τιμή της παραμέτρου E_0 στο φύλλο απαντήσεων. (δεν χρειάζεται η εκτίμηση αβεβαιότητας) 0.3pt

D.10 Να συμπληρώσετε την αντίστοιχη στήλη του Πίνακα του Ερωτήματος **A.3** με τις τιμές του όρου $y(t)$. Η τιμή του όρου $y(t)$ προκύπτει αν αφαιρέσουμε τις συνιστώσες από την συμπεριφορά του μέσου ως ελαστικό στερεό και της μεγαλύτερης σε διάρκεια ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς από την τιμή της δύναμης $F(t)$ (δεν χρειάζεται να λάβετε υπόψη τα ζεύγη τιμών του ερωτήματος **D.6**) 0.3pt

D.11 Να εξάγετε από την $y(t)$ (ερώτημα **D.10**), χρησιμοποιώντας γραφική μέθοδο, τις παραμέτρους E_2 και τ_2 , του δεύτερου ιξωδοελαστικού στοιχείου, σε μονάδες μέτρησης του SI. Να γράψετε τις τιμές των E_2 και τ_2 στο φύλλο απαντήσεων (δεν χρειάζεται αβεβαιότητα). 1.0pt

Άλλες συνιστώσες ιξωδοελαστικού υλικού μπορούν να εξαχθούν με παρόμοιο τρόπο.

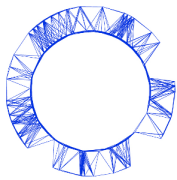
D.12 Να αναγνωρίσετε το χρονικό διάστημα $[t_i, t_f]$ σχετικά με την τρίτη συνιστώσα. Να γράψετε τις χρονικές στιγμές t_i και t_f στο φύλλο απαντήσεων (δεν χρειάζεται ακρίβεια). 0.3pt

D.13 Να εκτιμήσετε την τιμή του τ_3 , σε μονάδα μέτρησης του SI, από τη γραφική παράσταση του **D.11**. Να γράψετε την απάντησή σας στο Φύλλο Απαντήσεων σας (δεν χρειάζεται αβεβαιότητα). 0.3pt

Μέρος Ε: Υπολογισμός της τιμής του E σε σταθερές συνθήκες τάσης (0.6 points)

Να πάτε πίσω στο νήμα μικρότερου μήκους που αναρτήσατε στο Μέρος C. Σιγουρευτείτε ότι έχουν περάσει τουλάχιστο 30 λεπτά από τη στιγμή που το αναρτήσατε. Μπορείτε τώρα να υποθέσετε ότι αυτό το νήμα έχει φτάσει τη σταθερή τιμή τάσης $\epsilon = \sigma/E$.

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

Q2-13

Greek (Greece)

- E.1** Να καθορίσετε την τιμή του E απευθείας από το μήκος του τεντωμένου νήματος. 0.6pt
Να καταγράψετε την τιμή του στο φύλλο απαντήσεων μαζί με τη σχετική απόκλιση από την τιμή E_0 που υπολογίσατε το **Μέρος D** (δεν χρειάζεται ηη αβεβαιότητα).

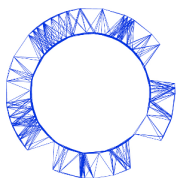
A2-1
Greek (Greece)

[illegible][illegible]

A2-2
Greek (Greece)

[illegible]

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-3

Greek (Greece)

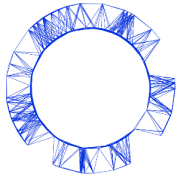
A.3 (cont.)

t	$P(t)$	F/gf	$\frac{dF}{dt}$	$y(t)$

A.4 (0.3 pt)

$\ell =$

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-4

Greek (Greece)

Μέρος Β: Υπολογισμός της διαμέτρου του τεντωμένου νήματος. (1.3 points)

B.1 (0.6 pt)

B.2 (0.3 pt)

$D =$

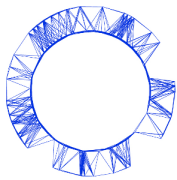
B.3 (0.3 pt)

$\bar{x} =$

B.4 (0.3 pt)

$d =$

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-5

Greek (Greece)

Μέρος C: Αλλάζοντας το παλιό νήμα με ένα νέο. (0.3 points)

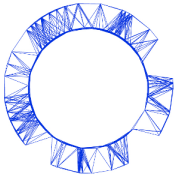
C.1 (0.3 pt)

$\ell'_0 =$

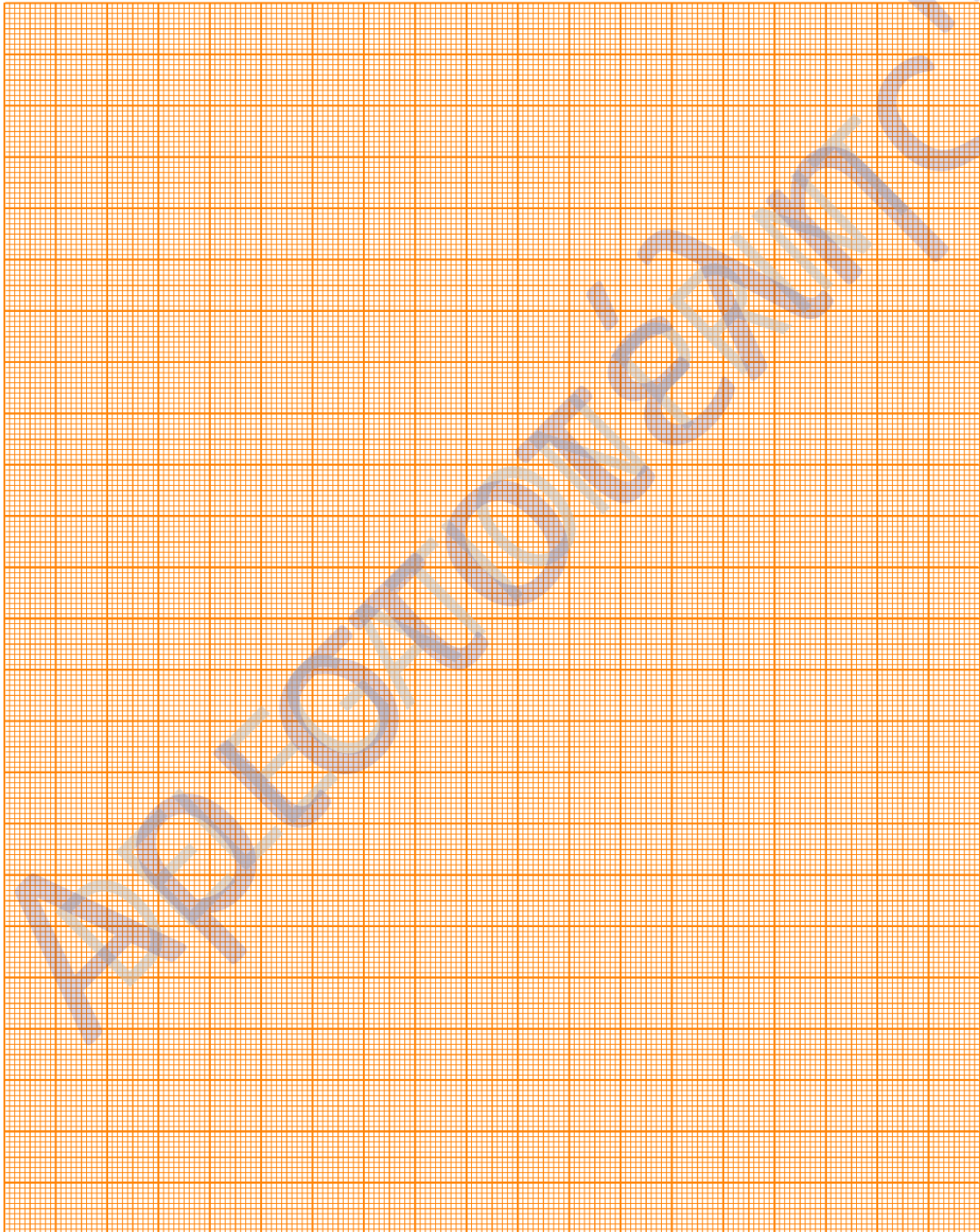
Μέρος D: Ανάλυση δεδομένων (5.7 points)

D.1 (0.3 pt)

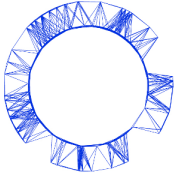
Συμπληρώστε τις τιμές του F στην κατάλληλη στήλη του πίνακα στο μέρος A.3.



D.2 (0.4 pt)



Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-7

Greek (Greece)

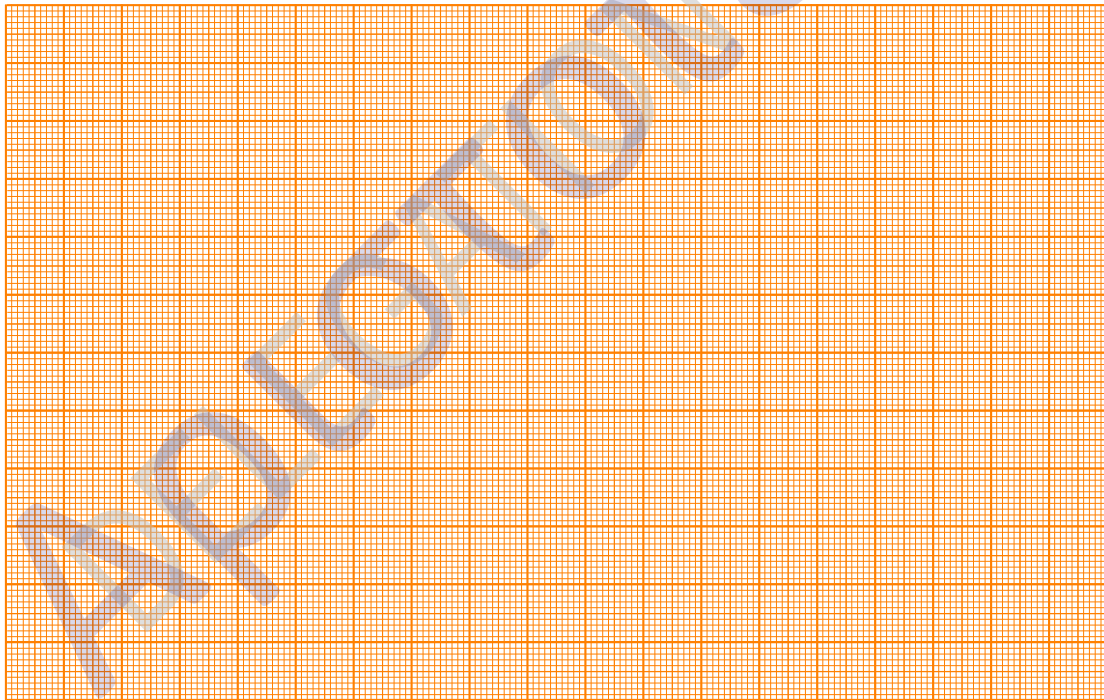
D.3 (0.3 pt)

$\epsilon =$

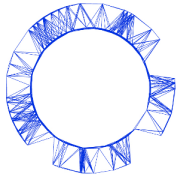
D.4 (0.3 pt)

$\beta =$

D.5 (0.4 pt)



Experiment



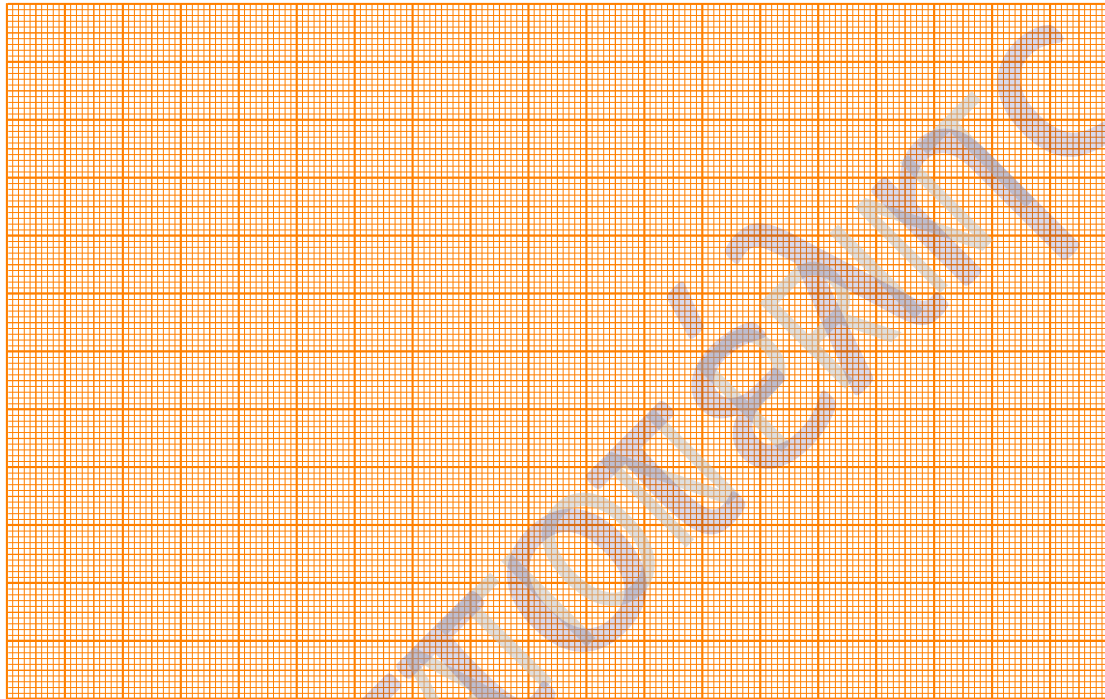
IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-8

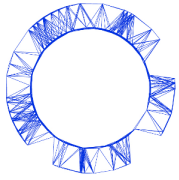
Greek (Greece)

D.6 (0.5 pt)

Συμπληρώστε τις τιμές του $\frac{dF}{dt}$ στην κατάλληλη στήλη του πίνακα στο μέρος **A.3**.



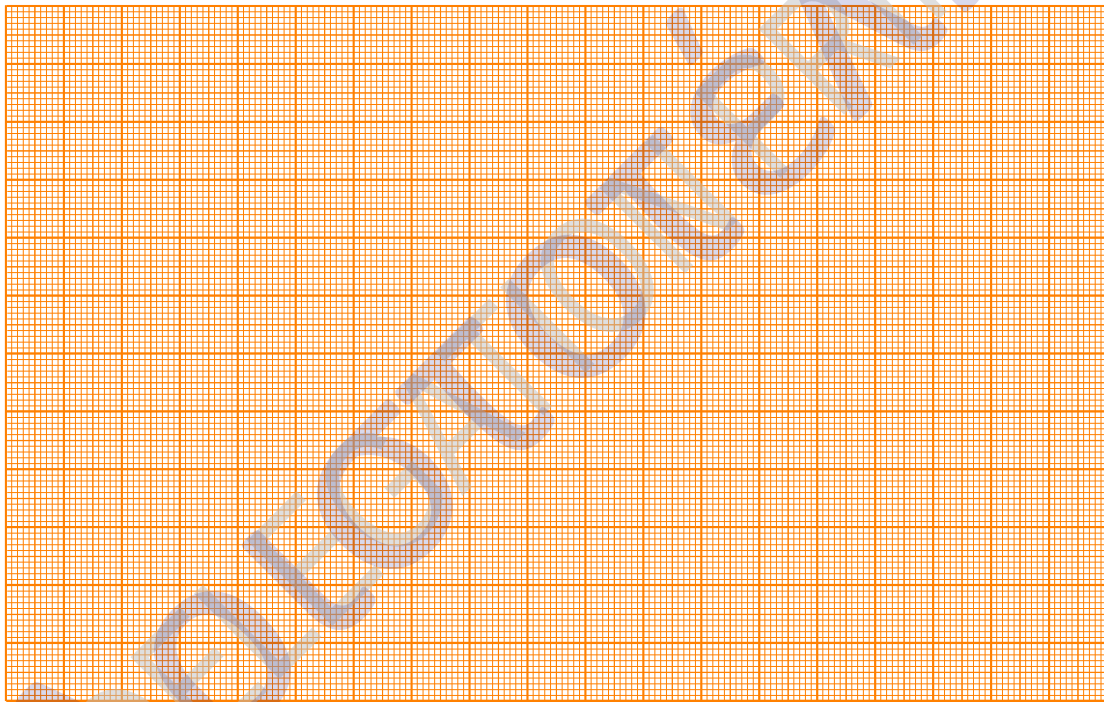
D.7 (0.3 pt)



D.8 (1.0 pt)

$$E_1 =$$

$$\tau_1 =$$

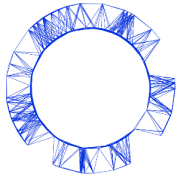


D.9 (0.3 pt)

$$E_0 =$$

D.10 (0.3 pt)

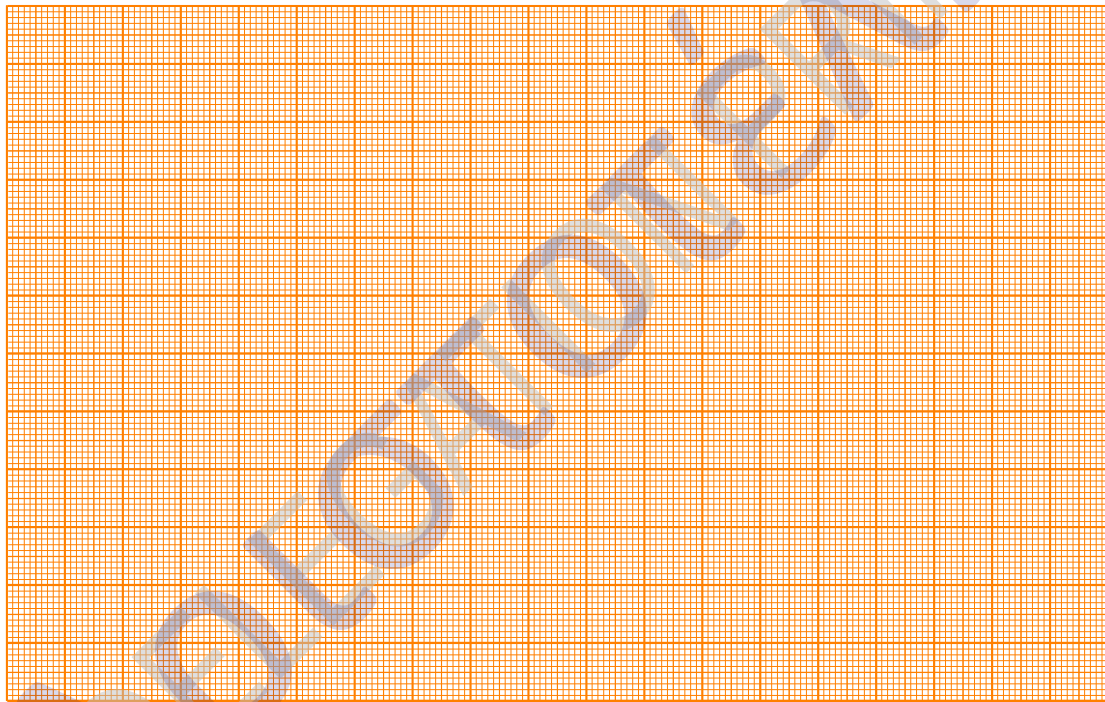
Συμπληρώστε τις τιμές του $y(t)$ στην κατάλληλη στήλη του πίνακα στο μέρος **A.3**.



D.11 (1.0 pt)

$$E_2 =$$

$$\tau_2 =$$

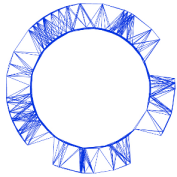


D.12 (0.3 pt)

$$t_i =$$

$$t_f =$$

Experiment



IPhO 2018
Lisbon, Portugal

A2-11

Greek (Greece)

D.13 (0.3 pt)

$$\tau_3 =$$

Μέρος Ε: Υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας του Young, E , χρησιμοποιώντας ένα εκκρεμές στρέψης (1.5 points)

E.1 (0.6 pt)

$$E =$$

$$\frac{E - E_0}{E_0} =$$