

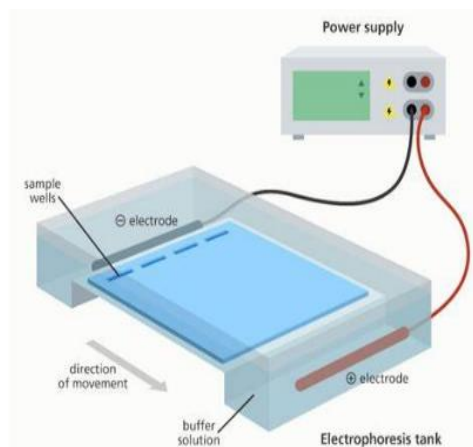
Ε.Κ.Φ.Ε. ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ

ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΕΟΕΣ 2023

17 Δεκεμβρίου 2022

Θέματα Φυσικής

Μελέτη ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ ευθύγραμμων παράλληλων αγωγών



Θεωρητικό υπόβαθρο

- Για την απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο πείραμά μας χρησιμοποιούνται οι ισοδυναμικές και οι δυναμικές γραμμές.

Ισοδυναμικές γραμμές είναι οι γραμμές, που όλα τους τα σημεία έχουν ίδιο δυναμικό.

Δυναμικές γραμμές είναι οι γραμμές που είναι πάντα κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές του πεδίου και αποτελούν μία σχηματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο επίπεδο. Οι δυναμικές γραμμές έχουν φορά ίδια με τη φορά της **έντασης (E)** του πεδίου.

- Η σχέση μεταξύ της έντασης E και της διαφοράς δυναμικού V_{KA} μεταξύ δύο σημείων K και A ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση x μετρημένη κατά μήκος μιας δυναμικής γραμμής, είναι

$$E = \frac{V_{KA}}{x} \quad \text{ή} \quad E = \frac{V_K - V_A}{x} \quad \text{ή} \quad V_A = V_K - Ex$$

Όπου $0 \leq x \leq \ell$ και ℓ η απόσταση μεταξύ των ευθύγραμμων ηλεκτροδίων.

Γενική περιγραφή της συσκευής αποτύπωσης ηλεκτρικών πεδίων

Η συσκευή αποτελείται από πλαστικό τετράγωνο δοχείο για την τοποθέτηση νερού. Το δοχείο φέρει στις δύο από τις απέναντι πλευρές του δύο μεταλλικά στηρίγματα για τη σταθεροποίηση και την τροφοδοσία των ηλεκτροδίων. Στον πυθμένα του δοχείου υπάρχει σχεδιασμένο πλέγμα για την ευκολότερη λήψη μετρήσεων.

Η συσκευή συνοδεύεται από καλώδια με κατάλληλους ακροδέκτες που χρησιμεύουν για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων διαφόρων μορφών με το τροφοδοτικό τάσης για τη δημιουργία των ηλεκτρικών πεδίων.

Αρχή λειτουργίας συσκευής αποτύπωσης ηλεκτρικού πεδίου

Η συσκευή έχει σχεδιαστεί για την πειραματική χαρτογράφηση διαφόρων τύπων ηλεκτρικών πεδίων. Συγκεκριμένα, επιτρέπει να αναπαράγονται με ευκολία οι **ισοδυναμικές γραμμές** των ηλεκτρικών πεδίων.

Όταν τοποθετήσουμε ηλεκτρόδια μέσα σε νερό και εφαρμόσουμε μια συνεχή τάση σε αυτά, τότε δημιουργείται κάποιο ηλεκτρικό πεδίο E. Το νερό μέσα στο δοχείο χρησιμεύει ως το αγωγίμο μέσο ή αγωγίμος χώρος μεταξύ των ηλεκτροδίων, ώστε να μπορεί να γίνει αποτύπωση των ηλεκτρικών πεδίων με τη βοήθεια του ψηφιακού βολτόμετρου. Επειδή το νερό παρουσιάζει πεπερασμένη αντίσταση, επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Τα θετικά ιόντα του νερού έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και τα αρνητικά ιόντα του νερού έλκονται από το θετικό ηλεκτρόδιο. Από αυτές τις κινήσεις των ιόντων παράγεται ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο νερό και προξενείται πτώση τάσεως ΔV κατά μήκος της μάζας του νερού μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το αποτέλεσμα είναι ότι από το ηλεκτρόδιο με υψηλό δυναμικό τροφοδοτούνται τα φορτία και έτσι ρεύμα διαρρέει τη μάζα του νερού προς το άλλο ηλεκτρόδιο με χαμηλότερο δυναμικό.

Πειραματική διαδικασία

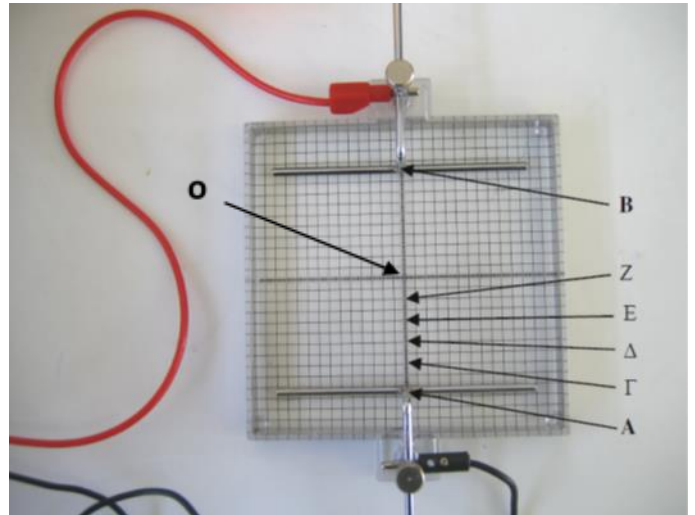
Στην παρούσα άσκηση θα ασχοληθείτε με το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο παράλληλων ευθύγραμμων ηλεκτροδίων. Πιο συγκεκριμένα, θα μελετήσετε το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο παράλληλα κατανεμημένων ίσων ετερόνυμων φορτίων.

Στον πάγκο σας θα βρείτε:

μία συσκευή αποτύπωσης ηλεκτρικού πεδίου, 2 ευθύγραμμα μεταλλικά ηλεκτρόδια, 1 δοχείο με νερό, 2 καλώδια με ακροδέκτες μπανάνας, 1 τροφοδοτικό υψηλών και χαμηλών τάσεων, 1 ψηφιακό πολύμετρο και 2 καλώδια με βελονοειδείς ακροδέκτες.

Πείραμα 1

1. Τοποθετούμε στις υποδοχές τα ευθύγραμμα ηλεκτρόδια και τα στερεώνουμε με τη βοήθεια των κοχλιών, ώστε να απέχουν μεταξύ τους $d = 10 \text{ cm}$. (Σημείωση: Η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές γραμμές του πλέγματος είναι 0.5 cm .)
2. Γεμίζουμε το πλαστικό δοχείο με λίγο νερό μέχρι ύψος περίπου 2 mm .
3. Προσέχουμε ώστε και τα δύο ηλεκτρόδια να εφάπτονται στην επιφάνεια του νερού. Σε περίπτωση που δεν εφάπτονται τελείως, προσθέτουμε λίγο νερό ακόμα.
4. Συνδέουμε την υποδοχή όπου στερεώσαμε το ένα ηλεκτρόδιο, με το τροφοδοτικό στην ένδειξη $+5\text{VDC}$, ενώ την υποδοχή με το άλλο ηλεκτρόδιο στην ένδειξη -5VDC του τροφοδοτικού.
5. Τοποθετούμε τον μαύρο ακροδέκτη στο σημείο Α και τον κόκκινο στο Β (τα σημεία Α και Β είναι τα συνοριακά σημεία μεταξύ των ηλεκτροδίων).
6. Προετοιμάζουμε το ψηφιακό πολύμετρο, ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε συνεχή τάση ($0-20\text{V}$).



Πριν ανοίξουμε το τροφοδοτικό για να αρχίσουμε τις μετρήσεις μας, καλούμε τον επιβλέποντα/επιβλέπουσα να ελέγξει τη διάταξη.

7. Μετρούμε το δυναμικό των σημείων Γ, Δ, Ε, Ζ κ.λ.π. εφαρμόζοντας τους ακροδέκτες του πολυμέτρου ανάμεσα σε κάθε ένα από τα σημεία Γ, Δ, Ε, Ζ κ.λ.π. και στο σημείο Ο. Μετρούμε και το δυναμικό του σημείου Ο σε σχέση με ένα άλλο σημείο της ευθείας που διέρχεται από το Ο και είναι παράλληλη με τα ηλεκτρόδια. Τα σημεία ανά δύο απέχουν μεταξύ τους 1 cm (δηλ. δύο γραμμές). Παίρνουμε μετρήσεις συνολικά σε πέντε σημεία (μέχρι 1 cm πριν τον ακροδέκτη Α). Καταγράφουμε τις μετρήσεις στον Πίνακα 1 (απόσταση x από το Ο σε cm) - (ΔV σε Volt)

Πίνακας 1

i	x (Απόσταση από το σημείο O) (cm)	$\Delta V = V_i - V_0$ (V)
1	0	
2	1	
3	2	
4	3	
5	4	

Γραφική παράσταση: Σε μιλιμετρέ χαρτί κατασκευάζουμε το διάγραμμα ΔV - x που δείχνει πώς μεταβάλλεται το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της γραμμής AB που είναι κάθετη στα δύο ηλεκτρόδια.

Ερώτηση 1: Τι διαπιστώνουμε στον τρόπο μεταβολής του δυναμικού V; Ποια είναι η εξήγηση με βάση τη θεωρία;

.....

.....

.....

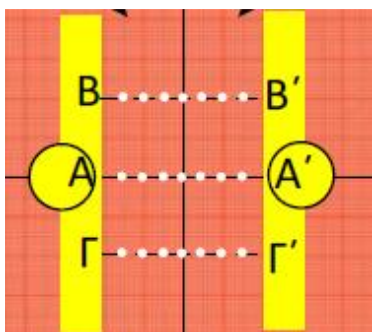
Ερώτηση 2: Πώς υπολογίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της γραμμής AB από το διάγραμμα;

.....

.....

.....

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι: $E = \dots\dots\dots$

Πείραμα 2

- Έχοντας ήδη εκτελέσει τα βήματα 1-6 του πειράματος 1, συνδέουμε το βολτόμετρο με το ένα ηλεκτρόδιο.
- Τοποθετούμε τον άλλο ακροδέκτη διαδοχικά κατά μήκος της μεσοκαθέτου AA' των δύο παράλληλων ηλεκτροδίων και σε θέσεις x_i που ισαπέχουν μεταξύ τους κατά 0.5 cm. Συγκεκριμένα ξεκινάμε σε απόσταση 1 cm εμπρός από το ηλεκτρόδιο, όπου έχουμε συνδέσει τον ένα ακροδέκτη του βολτομέτρου.
- Στον Πίνακα 2 καταγράφουμε τις τιμές V_i που μετράει το βολτόμετρο.
- Επαναλαμβάνουμε τα ίδια βήματα για τις δύο παράλληλες γραμμές BB' και ΓΓ' που είναι 2 cm επάνω και 2 cm κάτω αντίστοιχα, από την AA' και καταγράφουμε τις μετρήσεις του V_i στους Πίνακες 3 και 4 αντίστοιχα.

Πίνακας 2 Διαφορά δυναμικού κατά μήκος AA' $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$

i	x_i (cm)	V_i (V)	$\Delta V = V_{i+1} - V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)	Μέση τιμή της E
1	1				
2	1.5				
3	2				
4	2.5				
5	3				
6	3.5				
7	4		-	-	

Πίνακας 3 Διαφορά δυναμικού κατά μήκος BB' $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$

i	x_i (cm)	V_i (V)	$\Delta V = V_{i+1} - V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)	Μέση τιμή της E
1	1				
2	1.5				
3	2				
4	2.5				
5	3				
6	3.5				
7	4		-	-	

Πίνακας 4 Διαφορά δυναμικού κατά μήκος ΓΓ' $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$

i	x_i (cm)	V_i (V)	$\Delta V = V_{i+1} - V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)	Μέση τιμή της E
1	1				
2	1.5				
3	2				
4	2.5				
5	3				
6	3.5				
7	4		-	-	

Σημείωση: Στους Πίνακες 2, 3 και 4 υπολογίζουμε το $\Delta V = V_{i+1} - V_i$ αφαιρώντας από την επόμενη τιμή V_{i+1} την προηγούμενη τιμή V_i .

Αποτελέσματα - Ερωτήσεις στο Πείραμα 2

1. Βρείτε τη μέση τιμή της έντασης E του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος των γραμμών AA', BB', ΓΓ' :

$E_M = \dots\dots\dots$

2. Αφού μετρήσουμε την τάση $\Delta V_{\text{πλακών}}$ ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, υπολογίζουμε θεωρητικά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από τη σχέση $E = \Delta V_{\text{πλακών}}/d$.

$E_\theta = \dots\dots\dots$

3. Η μέση τιμή του E που προσδιορίζουμε με το πείραμα 2 συμφωνεί με την θεωρητική τιμή E_θ ; Αν δεν συμφωνεί ακριβώς, σε ποιες παραμέτρους μπορεί να οφείλεται το σφάλμα;

.....

Συνολικά συμπεράσματα από τα πειράματα 1 και 2

1. Σύμφωνα τα συνολικά αποτελέσματα των πειραμάτων 1 και 2, το ηλεκτρικό πεδίο που μελετήσαμε είναι ομογενές ή ετερογενές;
.....
.....
.....
2. Ποιο είναι το σχετικό σφάλμα της έντασης που υπολογίσατε από το διάγραμμα σε σχέση με τη θεωρητική τιμή της;
.....

Πείραμα 3

1. Σε μιλιμετρέ χαρτί σχεδιάζουμε τα δύο παράλληλα ηλεκτρόδια με το πραγματικό τους μήκος και στην πραγματική τους απόσταση.
2. Έχοντας ήδη εκτελέσει τα βήματα 1-6 του Πειράματος 1, συνδέουμε τον ένα ακροδέκτη του βολτόμετρου με το ένα ηλεκτρόδιο.
3. Μετακινούμε τον άλλο ακροδέκτη προοδευτικά ανά 5 mm προς το δεύτερο ηλεκτρόδιο πάνω σε διάφορες διευθύνσεις κάθετες προς τα ηλεκτρόδια, προσπαθώντας να εντοπίσουμε σημεία με το ίδιο δυναμικό. Εντοπίζουμε σημεία που έχουν το ίδιο δυναμικό με τα Γ, Δ, Ε, Ζ.
4. Στον Πίνακα 5 καταγράφουμε τις μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού των σημείων σε σχέση με το ηλεκτρόδιο.

Πίνακας 5 Ισοδυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου των δύο παράλληλων ηλεκτροδίων

Ισοδυναμική Γραμμή 1 (ΔV)	Ισοδυναμική Γραμμή 2 (ΔV)	Ισοδυναμική Γραμμή 3 (ΔV)	Ισοδυναμική Γραμμή 4 (ΔV)	Ισοδυναμική Γραμμή 5 (ΔV)

5. Παράλληλα σημειώνουμε τις μετρήσεις μας στις σωστές θέσεις σε σχέση με τα ηλεκτρόδια στο μιλιμετρέ χαρτί.
6. Στη συνέχεια ενώνουμε τα σημεία που έχουν το ίδιο δυναμικό, ώστε να εμφανιστούν οι ισοδυναμικές γραμμές του πεδίου. Σημειώνουμε την μέση τιμή της διαφοράς δυναμικού με το ηλεκτρόδιο για κάθε ισοδυναμική γραμμή.
7. Ακολούθως, σχεδιάζουμε 4 δυναμικές γραμμές.

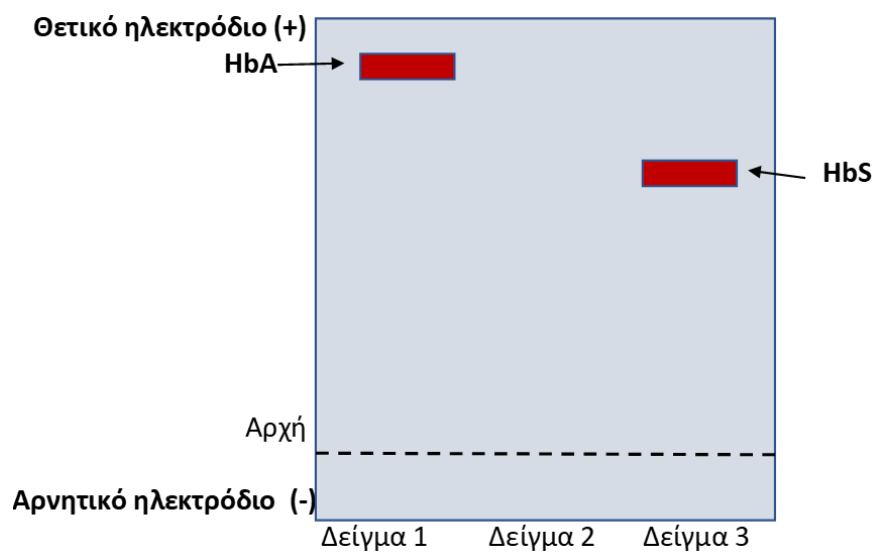
Εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου στη διάγνωση ασθενειών

Η ανακάλυψη του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ παράλληλων ευθύγραμμων ηλεκτροδίων ήταν η βάση για την επινοήση μιας βασικής τεχνικής της Βιοχημείας και Μοριακής Βιολογίας, την ηλεκτροφόρηση. Με την ηλεκτροφόρηση διαχωρίζονται μόρια που βρίσκονται σε μίγμα με την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου, αφού πρώτα εισέλθουν σε ένα πήκτωμα (gel-electrophoresis). Η κατεύθυνση της κίνησης των σωματιδίων στο ηλεκτρικό πεδίο εξαρτάται από το φορτίο τους. Η ταχύτητα με την οποία κινούνται τα μόρια μέσα στο πήκτωμα εξαρτάται από το φορτίο τους, αλλά και από το μέγεθός τους. Συνήθως η ηλεκτροφόρηση χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό βιολογικών μακρομορίων, όπως είναι το DNA και οι πρωτεΐνες.

Η ηλεκτροφόρηση έχει ευρεία εφαρμογή στη διάγνωση ασθενειών, όπως είναι οι αιματολογικές νόσοι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν η ανακάλυψη της μεθόδου διάγνωσης της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας από τον *Linus Pauling* και τους συνεργάτες του, το 1949. Η δρεπανοκυτταρική αναιμία είναι κληρονομική ασθένεια που χαρακτηρίζεται από την παραγωγή μη φυσιολογικής αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα τα ερυθρά αιμοσφαίρια να εμφανίζουν χαρακτηριστικό δρεπανοειδές σχήμα και να προκαλούν έτσι συχνή απόφραξη των αγγείων.

Οι ασθενείς με δρεπανοκυτταρική αναιμία έχουν μόνο τη μεταλλαγμένη μορφή της αιμοσφαιρίνης A που συμβολίζεται HbS, η οποία έχει διαφορετικό συνολικό φορτίο σε σχέση με την φυσιολογική αιμοσφαιρίνη A, HbA. Οι ασθενείς με στίγμα της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας είναι ετερόζυγοι για το μεταλλαγμένο γονίδιο και διαθέτουν περίπου ίσες ποσότητες φυσιολογικής αιμοσφαιρίνης A και μεταλλαγμένης HbS. Με την τεχνική της ηλεκτροφόρησης καθίσταται εύκολο να διακρίνουμε αν ένα άτομο έχει μόνο τη φυσιολογική αιμοσφαιρίνη A ή μόνο την HbS ή και τις δύο.

Στο παρακάτω σχήμα έχουμε ένα πήκτωμα με το αποτέλεσμα της ηλεκτροφόρησης αιμοσφαιρινών A που έχουν απομονωθεί από τρία διαφορετικά άτομα: ένα υγιές, ένα με το στίγμα της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας και ένα πάσχον. Τα διαφορετικά μόρια αιμοσφαιρινών εμφανίζονται ως ζώνες σε διαφορετικές αποστάσεις από τη γραμμή έναρξης της ηλεκτροφόρησης των δειγμάτων. Η ηλεκτροφόρηση πραγματοποιήθηκε σε αγώγιμο διάλυμα pH 8.6.



Ερωτήσεις

Λαμβάνοντας υπόψη ότι στην ηλεκτροφόρηση αιμοσφαιρινών η κινητικότητα των μορίων εξαρτάται από το φορτίο τους,

α. Τι είδους φορτίο έχει η αιμοσφαιρίνη Α, η αιμοσφαιρίνη S σε pH 8.6; Να δοθεί εξήγηση.

.....
.....

β. Διαφέρει κατ' απόλυτη τιμή το φορτίο της HbA σε σχέση με της HbS ή όχι; Να δοθεί εξήγηση.

.....
.....

γ. Σε ποια άτομα ανήκουν τα δείγματα αιμοσφαιρίνης 1 και 3;

.....
.....

δ. Πώς θα εμφανίζεται στο σχήμα το αποτέλεσμα της ηλεκτροφόρησης για το άτομο με στίγμα της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας;

ΚΑΛΗ ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗ!

Οι εισηγητές

*Κωνσταντινοπούλου Βασιλική – Υπεύθυνη Ε.Κ.Φ.Ε. Χαλανδρίου
Τίκας Βάιος – Καθηγητής Βιολογίας 4^{ου} ΓΕ.Λ. Αγίας Παρασκευής*

Βιβλιογραφία

1. Οδηγίες χρήσης συσκευής
2. ΕΚΦΕ (Ν. ΣΜΥΡΝΗΣ) Δ' Δ/ΝΣΗΣ Δ. Ε. ΑΘΗΝΑΣ, Μαρίνης Πετρόπουλος, Φυσικός
3. Πειραματικό Λύκειο Ευαγγελικής σχολής, Γ. Κουμαριανός
4. Arthi Sridhar, Modupe Idowu. [Hemoglobin Electrophoresis in Sickle Cell Disease: A Primer for the Clinician - Hematology.org](https://www.hematology.org/education/clinical-articles/Hemoglobin-Electrophoresis-in-Sickle-Cell-Disease-A-Primer-for-the-Clinician)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Πειραματική διαδικασία	Μόρια	Βαθμολογία
Ρύθμιση πολύμετρου ως βολτόμετρου (κλίμακα/ακροδέκτες)	5	
Συναρμολόγηση κυκλώματος	4	
Κλίμακα τροφοδοτικού	2	
Σωστή ποσότητα νερού	1	
Μέτρηση στα ηλεκτρόδια	2	
Τακτοποίηση οργάνων στο τέλος	1	
Σύνολο προετοιμασίας πειραμάτων	15	
Πείραμα 1		
Πίνακας 1	5	
Διάγραμμα ΔV-x	12	
Ερώτηση 1	5	
Ερώτηση 2	5	
Πείραμα 2		
Πίνακες 2,3,4	3x4=12	
Υπολογισμός E_M	2	
Υπολογισμός E_θ	3	
Παράμετροι σφάλματος	4	
Συνολικό συμπέρασμα 1	3	
Συνολικό συμπέρασμα 2	3	
Πείραμα 3		
Πίνακας 5	5	
Διάγραμμα απεικόνισης πεδίου	13	
Ηλεκτροφόρηση		
Είδος φορτίου HbA, HbS + εξήγηση	4	
Σύγκριση φορτίων + εξήγηση	4	
Ποια άτομα αντιστοιχούν στα δείγματα 1, 3	3	
Πρότυπο ζωνών ετερόζυγου	2	
Σύνολο γραπτής βαθμολογίας	85	
Σύνολο μορίων	100	