

CHM_E_B6 (και GCHM_C661) Αιωρήματα & Γαλακτώματα



Εαρινό εξάμηνο Ακ.
Έτους 2025-26

Μάθημα 8°

Στα προηγούμενα, είδαμε τρόπους με τους οποίους είναι δυνατόν να μετρηθούν **χαρακτηριστικές παράμετροι** της ηλεκτρικής διπλής στιβάδας.

Τα μοντέλα, τα οποία αναπτύχθηκαν για την περιγραφή της ηλεκτρικής διπλής στιβάδας αποτελούν προσπάθειες περιγραφής, όσο γίνεται λεπτομερέστερα, του τρόπου κατανομής του ηλεκτρικού φορτίου και του ηλεκτρικού δυναμικού στη γειτονία φορτισμένης ηλεκτρικής διπλής στιβάδας.

Επειδή δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί άμεσα το ηλεκτρικό δυναμικό, θα πρέπει τα μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν να υποβληθούν σε δοκιμές, όσο γίνεται αυστηρότερες.

Ένας από τους τρόπους εξαγωγής περισσοτέρων πληροφοριών για τη δομή της ηλεκτρικής διπλοστιβάδας είναι οι μετρήσεις των **ηλεκτροκινητικών παραμέτρων**

Ηλεκτροκινητικά Φαινόμενα

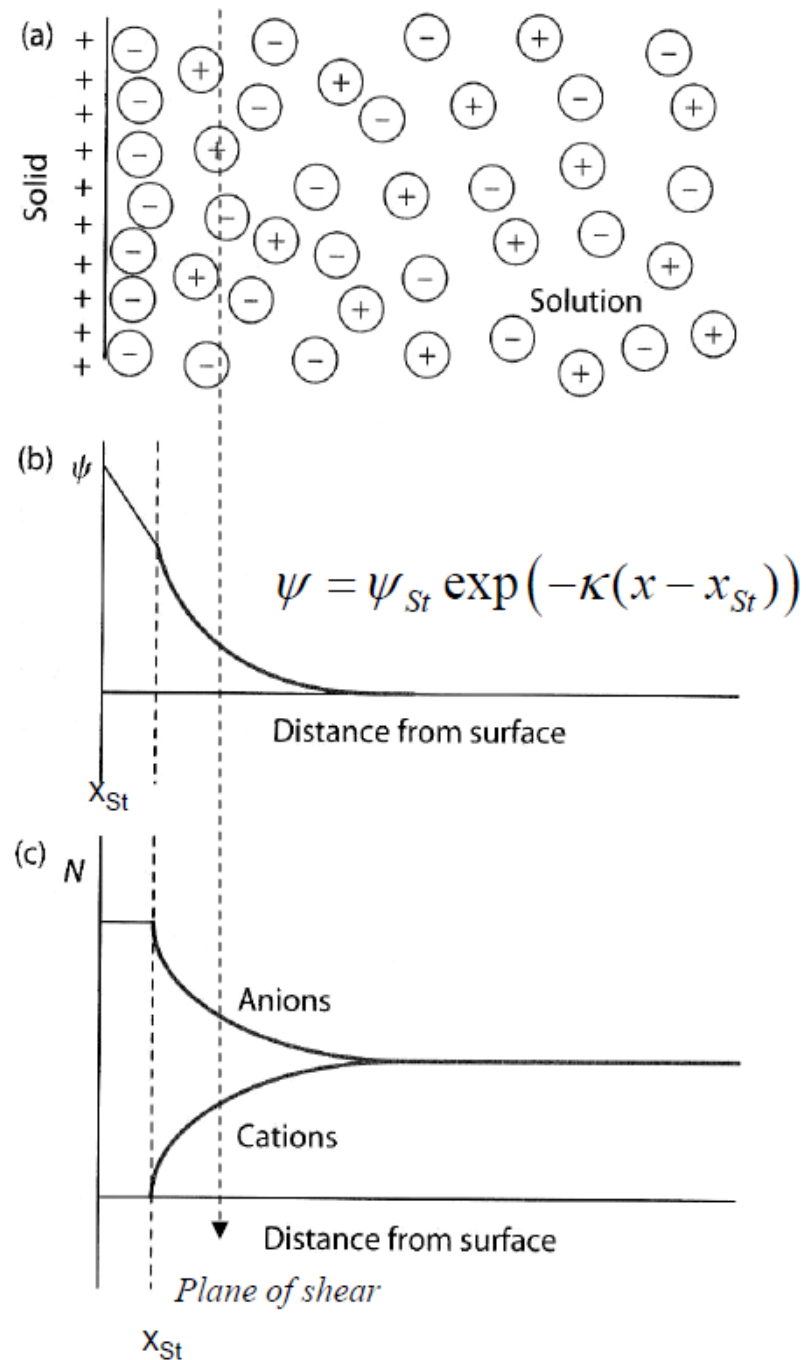
Τα ιόντα στο διάχυτο μέρος της ηλεκτρικής διπλοστιβάδας (EDL) κινούνται υπό την επίδραση διαφορετικών κινητήριων δυνάμεων, όπως ένα ηλεκτρικό πεδίο, μια βαθμίδα πίεσης (δυναμικό ροής, *streaming potential*), μια θερμοκρασιακή βαθμίδα (θερμοφόρηση), μια βαθμίδα συγκέντρωσης (διαχυτόφορηση, *diffusiophoresis*) [5] ή ένα βαρυτικό πεδίο (δυναμικό καθίζησης, *sedimentation potential*).

Ως αποτέλεσμα της κίνησης των ιόντων, **το περιβάλλον ρευστό παρασύρεται**, οδηγώντας σε κίνηση του ρευστού, σταγονιδίων ή σωματιδίων μέσα στο σύστημα. Ανάλογα με τη φάση που κινείται και τον τύπο της κινητήριας δύναμης, μπορούν να παρατηρηθούν διαφορετικά ηλεκτροκινητικά φαινόμενα.

Μια επιφάνεια σε επαφή με ηλεκτρολυτικό διάλυμα, κατά κανόνα έχει φορτίο, σ_0 . Αυτό το φορτίο έχει ως συνέπεια τη δημιουργία δυναμικού, ψ_0 , στην επιφάνεια, και ενός φθίνοντος δυναμικού, ψ , καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια προς τη μεριά του διαλύματος. Συνέπεια είναι η αναδιάταξη των ιόντων.

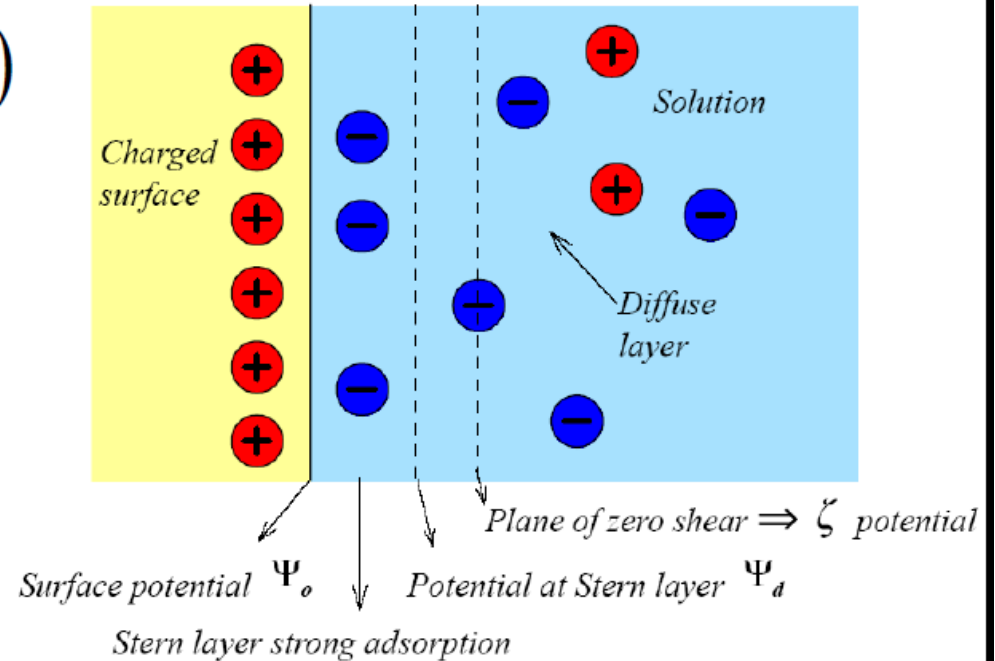
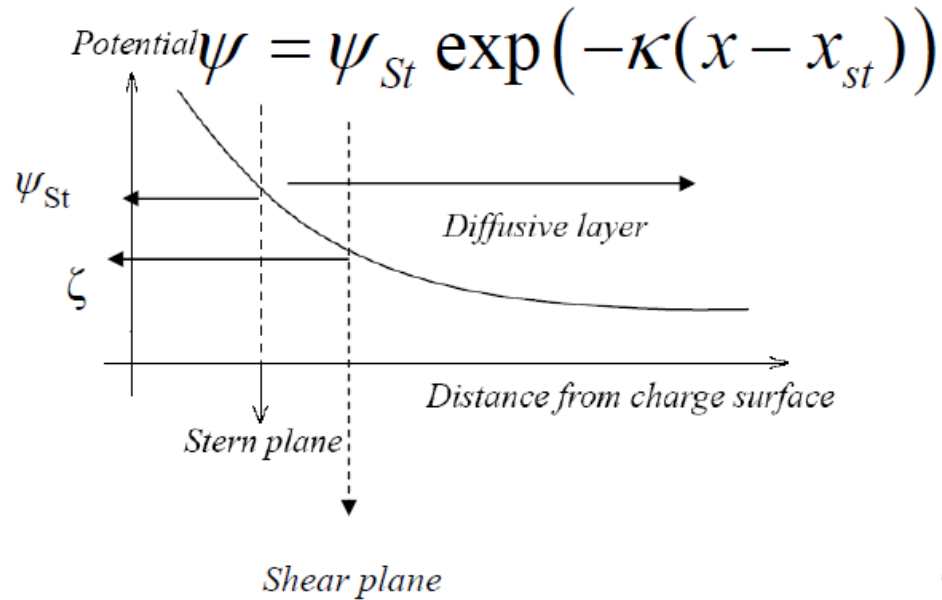
Δύο περιοχές: Η στιβάδα Stern αμέσως μετά την επιφάνεια, όπου σημασία έχει το μέγεθος των ιόντων ενώ έξω από αυτήν είναι η διάχυτη διπλοστιβάδα.

Λόγω της διαφοράς φορτίου μεταξύ επιφάνειας του στερεού και της διάχυτης διπλοστιβάδας, η σχετική κίνηση της μιας περιοχής ως προς την άλλη θα προκαλέσει διαχωρισμό φορτίου και συνεπώς τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού. Διαφορετικά, η εφαρμογή δυναμικού μπορεί να προκαλέσει τη σχετική αυτή κίνηση των δύο φάσεων.



Η σχετική κίνηση (φορτισμένης ηλεκτρικά) επιφάνειας - υγρού γίνεται στο επίπεδο ολίσθησης. Το δυναμικό στο επίπεδο αυτό είναι γνωστό ως **δυναμικό ζ** και η τιμή του υπολογίζεται από **μετρήσεις των ηλεκτροκινητικών φαινομένων**. Το δυναμικό ζ είναι σχεδόν το ίδιο με το δυναμικό Stern οπότε δίνει μια ιδέα για το δυναμικό στο επίπεδο από το οποίο και πέρα εκτείνεται η διάχυτη διπλοστιβάδα

Ηλεκτροκινητικό δυναμικό



Το ηλεκτροκινητικό ή δυναμικό ζ είναι το ηλεκτροστατικό δυναμικό στο επίπεδο ολίσθησης

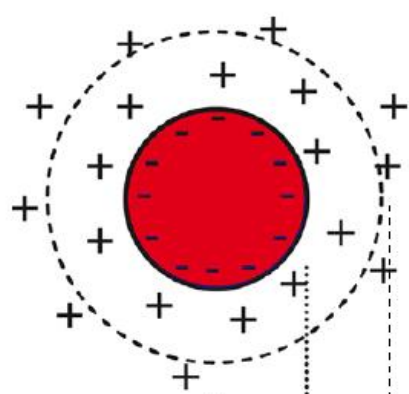
Θετικά φορτισμένο σωματίδιο με αρνητική ιοντική ατμόσφαιρα

Το επίπεδο ολίσθησης είναι πολύ κοντά στο εξωτερικό μέρος της στιβάδας Stern με αποτέλεσμα το δυναμικό Stern να προσεγγίζει το δυναμικό ζ σε χαμηλή συγκέντρωση ηλεκτρολύτη

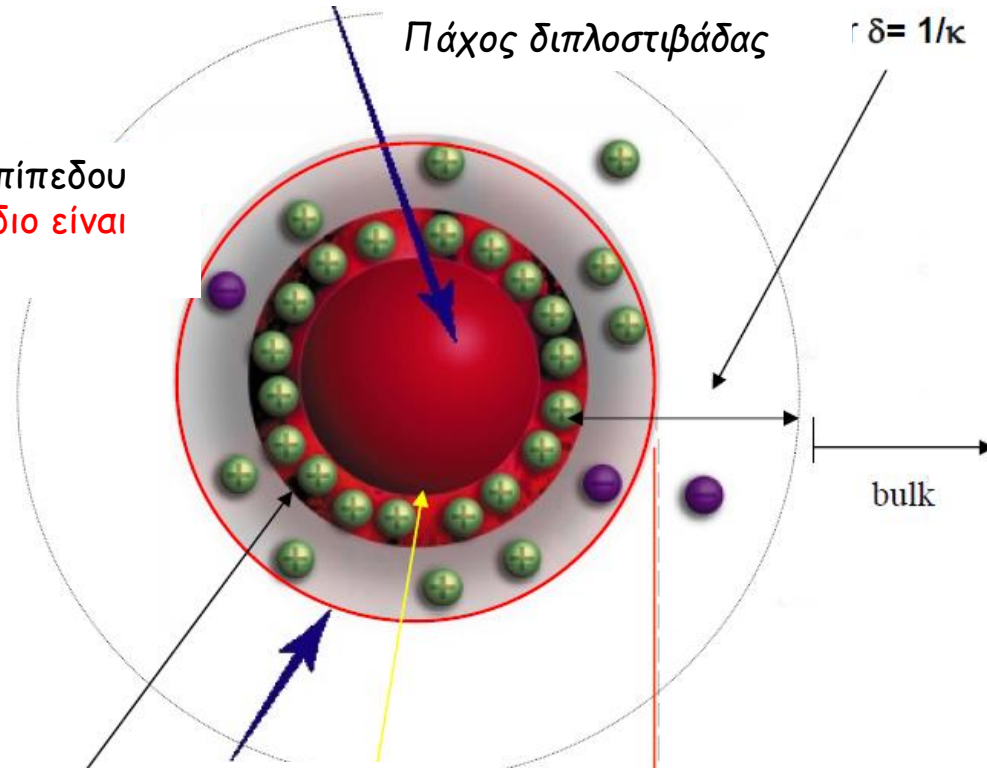
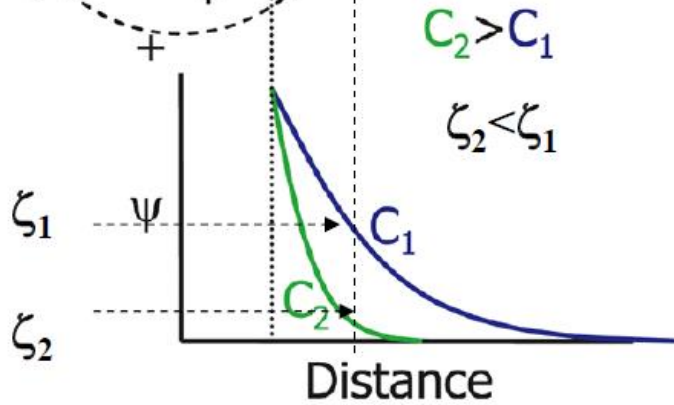
$$\zeta \approx \psi_{St}$$

Ηλεκτροκινητικό δυναμικό σωματιδίων

Αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο

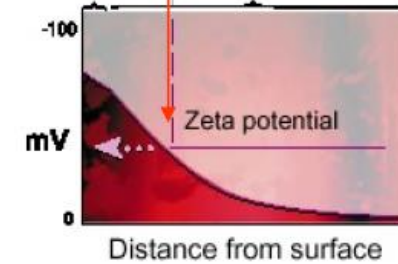


Στο εσωτερικό του επίπεδου ολίσθησης το σωματίδιο είναι μια ενιαία οντότητα



Επίπεδο Stern

διεπιφάνεια



Ηλεκτροκινητικά φαινόμενα

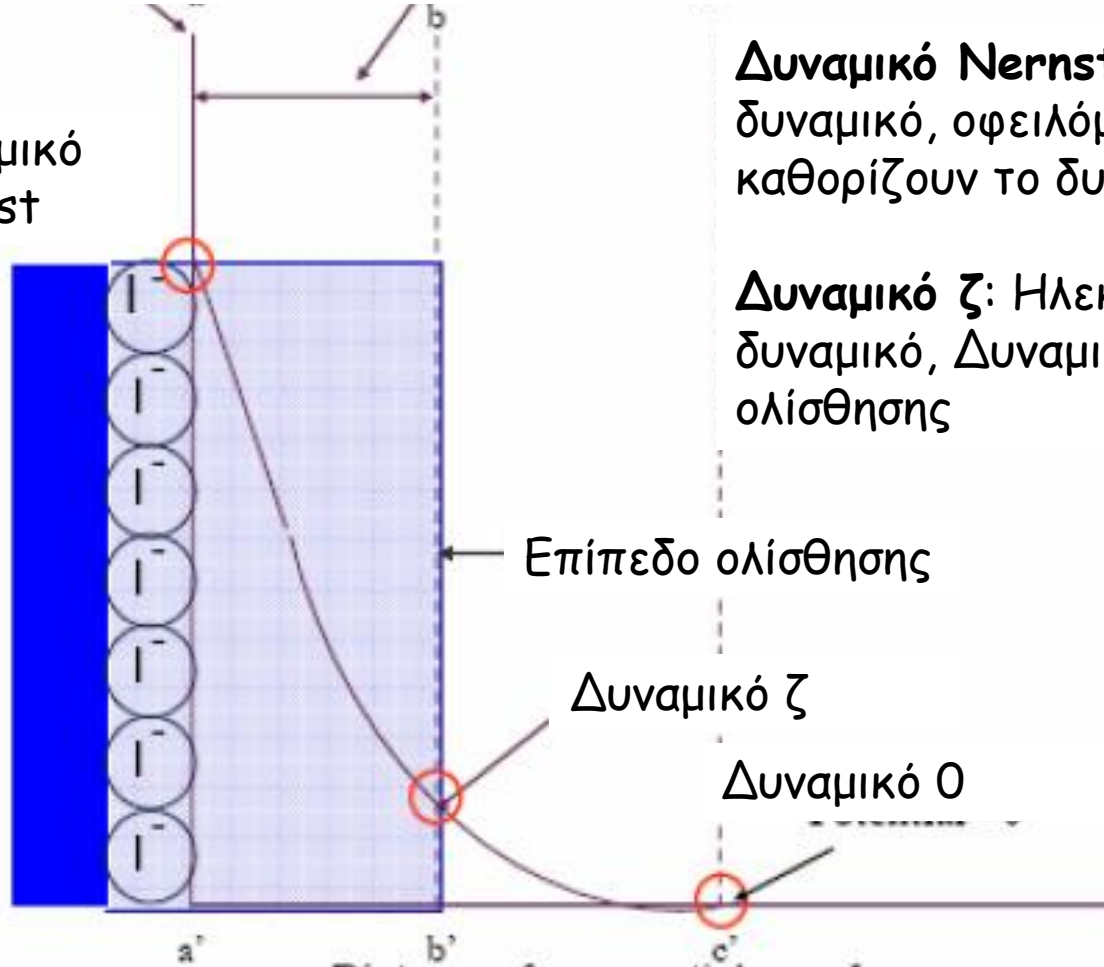
Επιφάνεια
σωματιδίου

Ιόντα αντιθέτου φορτίου και
μόρια ύδατος

Δυναμικό
Nernst

Δυναμικό Nernst: Ηλεκτροχημικό
δυναμικό, οφειλόμενο στα ιόντα που
καθορίζουν το δυναμικό

Δυναμικό ζ : Ηλεκτροκινητικό
δυναμικό, Δυναμικό στο επίπεδο
ολίσθησης

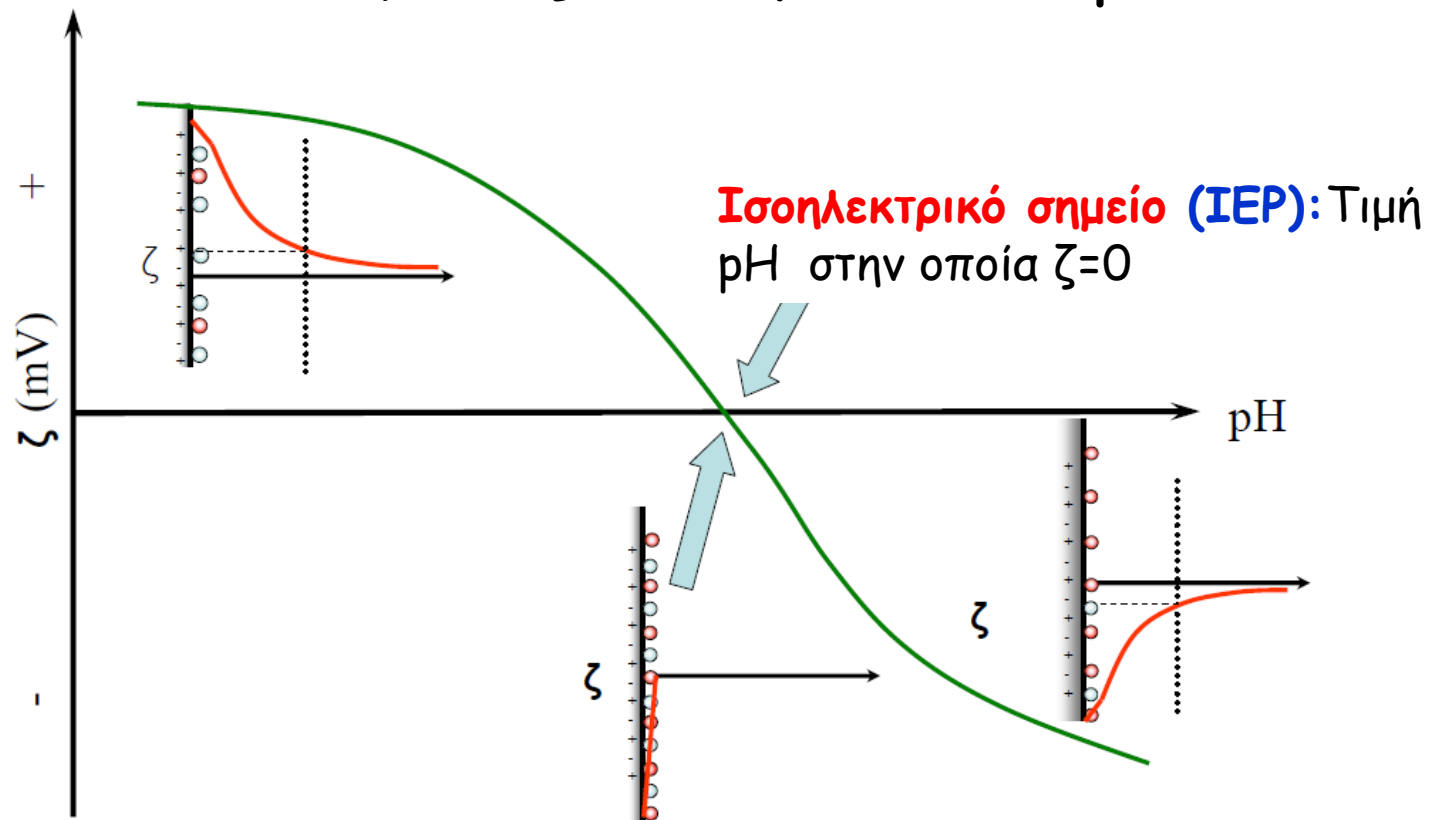


Επίπεδο ολίσθησης

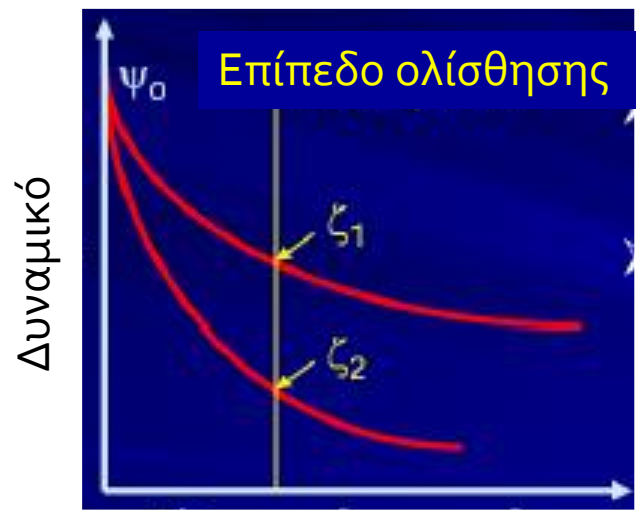
Δυναμικό ζ

Δυναμικό 0

Δυναμικό ζ: Επίδραση του pH

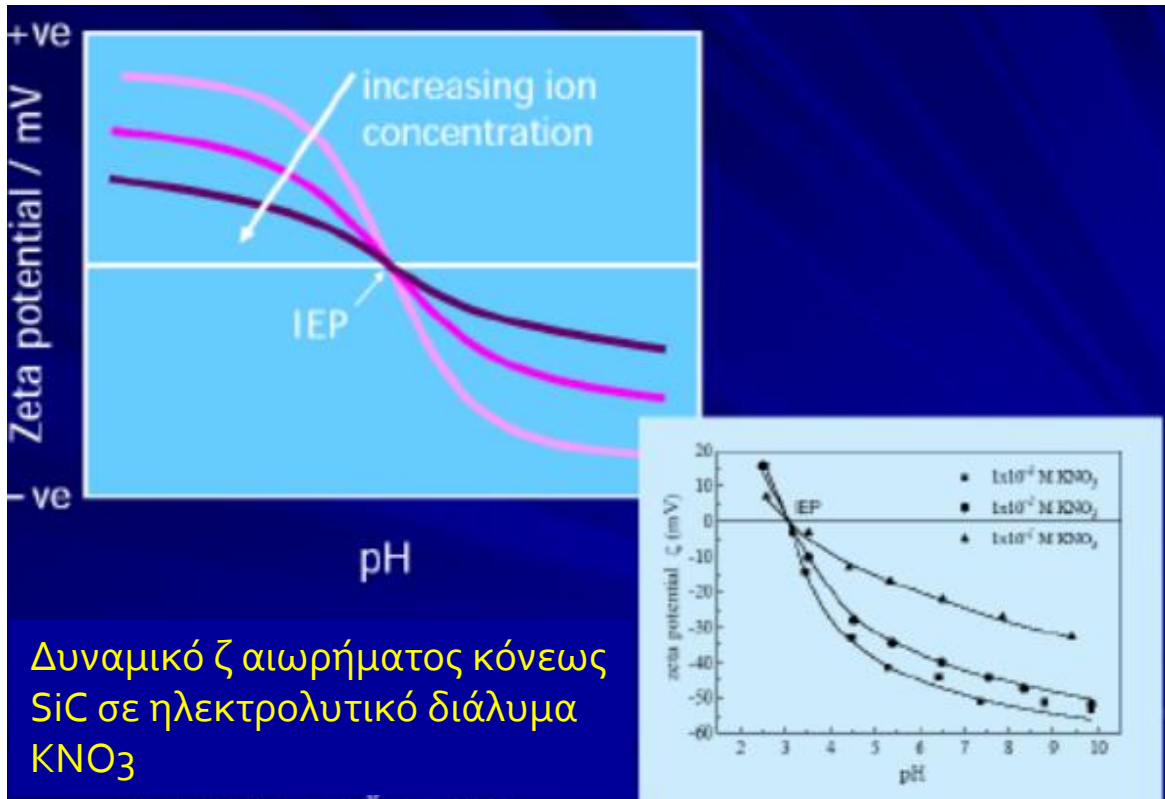


Το δυναμικό ζ είναι υψηλότερο όταν η διπλή στιβάδα είναι παχύτερη-μεγαλύτερη τιμή κ^{-1}



Απόσταση από επιφάνεια

Η ηλεκτρική διπλοστιβάδα συμπιέζεται (μείωση κ^{-1}) αν η συγκέντρωση ή το σθένος (Mg^{2+} vs. Na^+ , SO_4^{2-} vs. Cl^-) των ιόντων του ηλεκτρολύτου με φορτίο αντίθετο εκείνου της επιφάνειας, είναι μεγαλύτερη



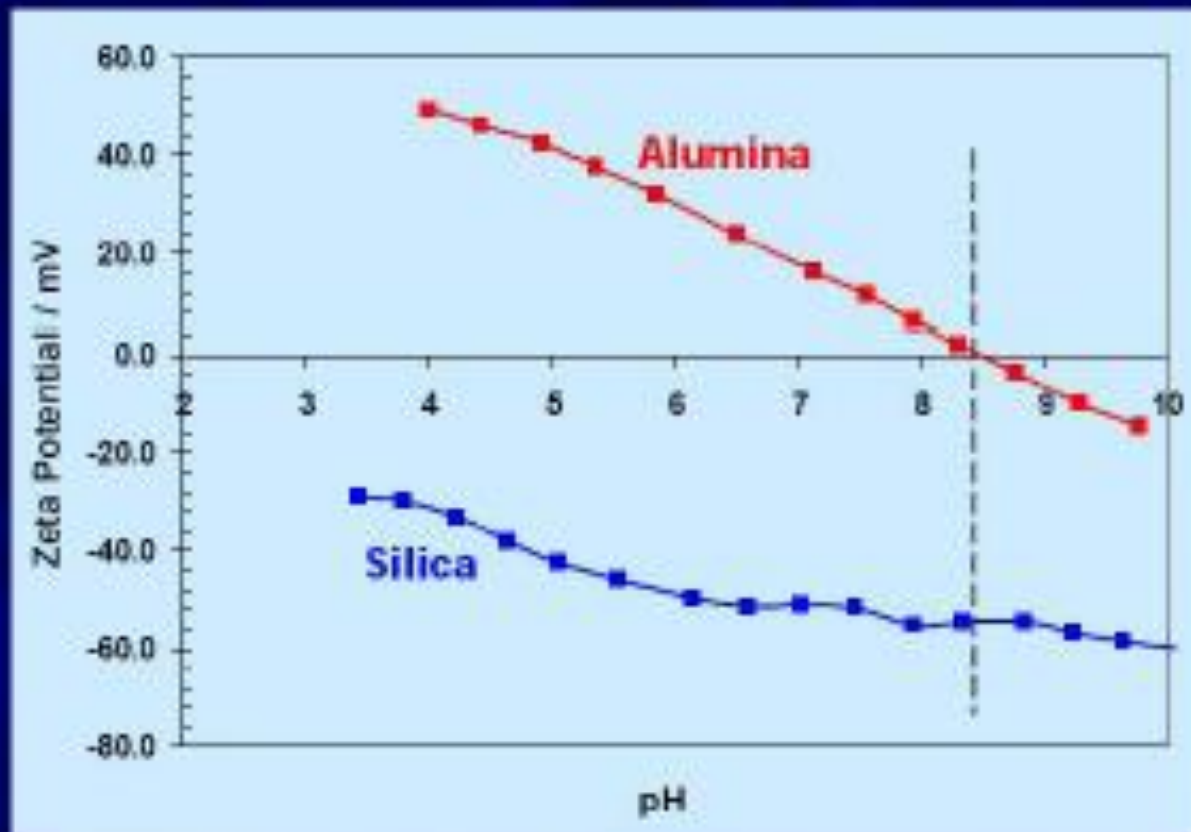
Δυναμικό ζ αιωρήματος κόνεως SiC σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα KNO_3

Ισοηλεκτρικό σημείο

Η τιμή του pH στην οποία το δυναμικό ζ παίρνει την τιμή 0 (δηλαδή στην οποία δεν υπάρχει καθαρό φορτίο στο επίπεδο ολίσθησης), ορίζεται ως **ισοηλεκτρικό σημείο, IEP**.

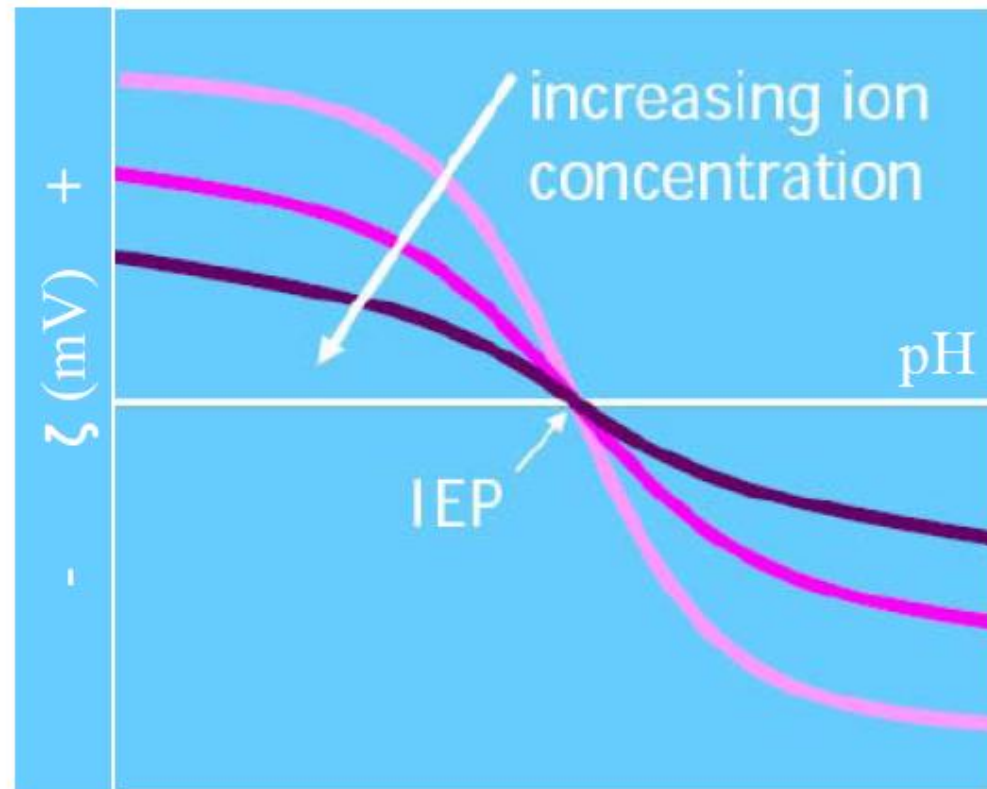
Για μια φορτισμένη ενυδατωμένη επιφάνεια, η μεταβολή της τιμής του pH από την αντίστοιχη του ισοηλεκτρικού σημείου, θα έχει ως συνέπεια την αύξηση της απόλυτης τιμής του δυναμικού ζ και στην συνέχεια μειώνεται λόγω της συμπίεσης της ηλεκτρικής διπλής στιβάδας

Κατά την προσρόφηση μορίου πολυηλεκτρολύτη στην επιφάνεια ενός σωματιδίου, το δυναμικό ζ αυξάνεται επίσης ταχύτατα αρχικά και στη συνέχεια βραδύτερα



Το ισοηλεκτρικό σημείο διαφορετικών υλικών, αντιστοιχεί σε διαφορετικές τιμές pH. Αυτό, σημαίνει ότι τα σωματίδια μιγμάτων κόνεων διαφορετικών σωματιδίων συσσωματώνονται εφόσον τα αντίστοιχα φορτία στα σωματίδια είναι αντίθετα. Π.χ. Al_2O_3 και SiO_2 σε $\text{pH} < 8.5$

Ισοηλεκτρικό σημείο- επίδραση συγκέντρωσης ιόντων



Ηλεκτροκινητική: Όρος ο οποίος αναφέρεται σε όλες τις διεργασίες, στις οποίες η οριακή στιβάδα μεταξύ μιας ηλεκτρικά φορτισμένης φάσης και μιας άλλης εξαναγκάζεται να κάνει κάποια εργασία διάτμησης (ολίσθηση).

Το φορτίο το οποίο είναι προσκολλημένο στη μια φάση (π.χ. Του στερεού) κινείται στην περίπτωση αυτή προς μια κατεύθυνση και το αντίστοιχο φορτίο το οποίο συνδέεται με την άλλη φάση, με την οποία η πρώτη είναι σε επαφή, κινείται προς την αντίθετη.

Από την ανάλυση της σχετικής κίνησης (της μιας φάσης ως προς την άλλη) είναι δυνατόν να εξαχθούν πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο η διπλοστιβάδα αντιδρά στο πεδίο διάτμησης.

Στην καλύτερη περίπτωση, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η κατανομή του κινούμενου φορτίου μεταξύ των δύο φάσεων. Υπό την προϋπόθεση ότι τα μοντέλα τα οποία έχουμε για τη διπλοστιβάδα είναι ακριβή, θα πρέπει τα ηλεκτροκινητικά αποτελέσματα να είναι σε συμφωνία.

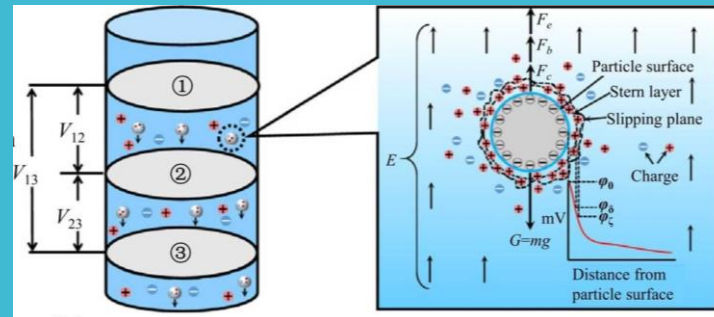
Ηλεκτροκινητικά φαινόμενα

Ηλεκτρο-ωσμωση: Σχετική κίνηση ρευστού ως προς μια φορτισμένη (ηλεκτρικά) επιφάνεια με την εφαρμογή διαφοράς δυναμικού

Ηλεκτροφόρηση: Παρουσία ηλεκτρικού πεδίου τα σωματίδια κινούνται σχετικά με ένα στάσιμο ή και κινούμενο ρευστό

Δυναμικό ροής: Ιόντα που περιέχονται σε διαλύματα εξαναγκάζονται να κινηθούν μέσα από τριχοειδείς μικροδιαύλους λόγω εφαρμοζόμενης υδροστατικής πίεσης απουσία ηλεκτρικού πεδίου. Στην ροή αντιτίθενται ηλεκτροιξώδη φαινόμενα

Διηλεκτροφόρηση: Κίνηση διηλεκτρικών σωματιδίων σε χωρικά ανομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο

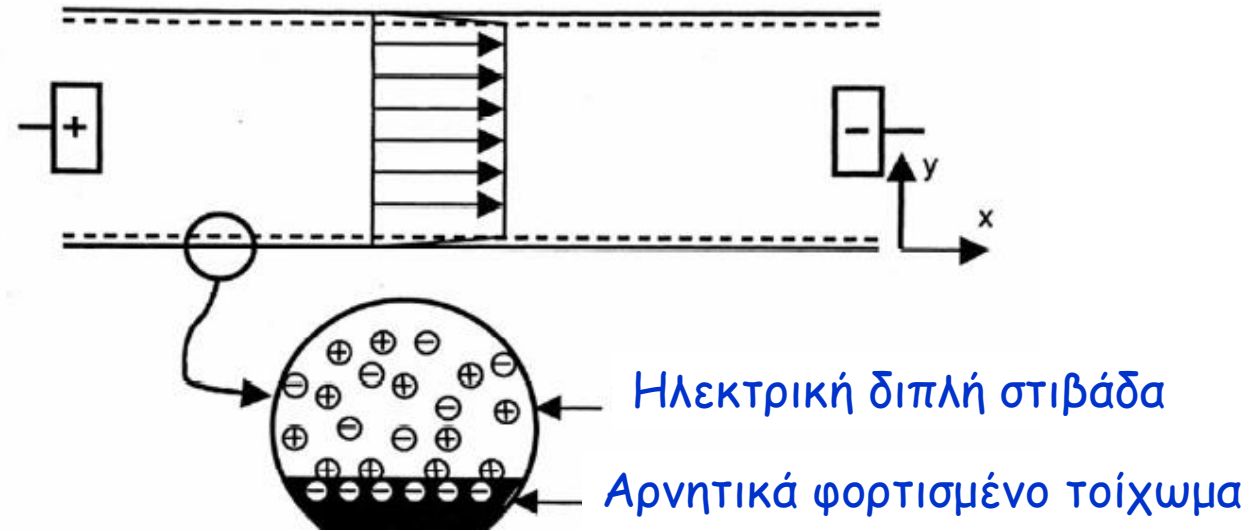


- Αν αιώρημα φορτισμένων σωματιδίων αφεθεί να καθιζήσει, η κίνηση των σωματιδίων λόγω της καθίζησης, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ του άνω και του κάτω μέρους του αιωρήματος.
- Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως φαινόμενο Dorn και το αντίστοιχο δυναμικό είναι γνωστό ως δυναμικό καθίζησης.

Ηλεκτροώσμωση

- Ο όρος αυτός, αναφέρεται στην κίνηση ενός υγρού, λόγω εφαρμογής ηλεκτρικού πεδίου. Η κίνηση αυτού του είδους λαμβάνει χώρα, όταν εφαρμοσθεί ηλεκτρικό πεδίο στα άκρα πορώδους δισκίου.
- Στην απλούστερη μορφή του το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, E , σε τριχοειδή σωλήνα παράλληλα προς τον άξονα του σωλήνα.
- Η ροή, οφείλεται στην παρουσία ηλεκτρικής διπλοστιβάδας στα τοιχώματα του τριχοειδούς.
- Σε γυάλινο τριχοειδή σωλήνα, ο οποίος περιέχει ηλεκτρολυτικό διάλυμα το ηλεκτρικό φορτίο στα τοιχώματα οφείλεται στη διάσταση των σιλανο-ομάδων της επιφάνειας του γυαλιού ($-SiOH$) ή στην επιλεκτική προσρόφηση ιόντων OH^- και κατά κανόνα είναι αρνητική. Αντισταθμίζεται από ίσο και αντίθετο φορτίο του ηλεκτρολύτη.

Ηλεκτρούσμωση



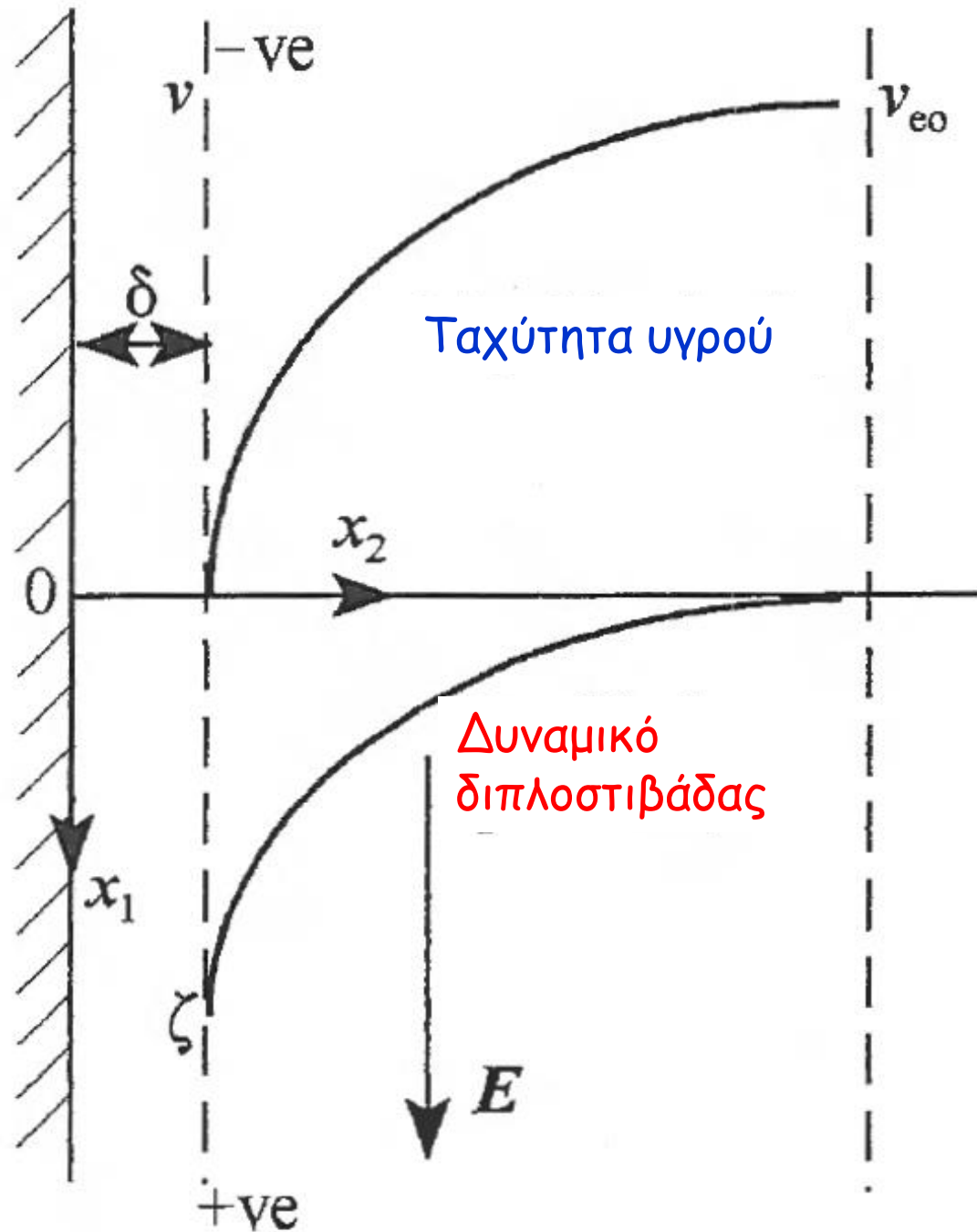
Η εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου, έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση των ιόντων της διπλοστιβάδας προς το ένα ή το άλλο ηλεκτρόδιο.

Επειδή τα ιόντα θα είναι του αυτού φορτίου η κίνησή τους, έχει ως συνέπεια τη δημιουργία δύναμης σώματος η οποία ασκείται στο υγρό στη μεριά της διπλοστιβάδας με αποτέλεσμα την κίνηση του υγρού.

Κατά κανόνα, η ακτίνα του σωλήνα είναι πολύ μεγαλύτερη από το πάχος της ηλεκτρικής διπλοστιβάδας με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ανάλυση της ροής στη διπλοστιβάδα με την παραδοχή ότι είναι επίπεδη (η διπλοστιβάδα).

Επειδή το εφαρμοζόμενο πεδίο είναι παράλληλο προς τη διπλοστιβάδα, η μετακίνηση των ιόντων δεν επηρεάζει την πυκνότητα φορτίου ρ_e : (Καθώς τα ιόντα κινούνται προς το ηλεκτρόδιο αντικαθίστανται από άλλα ιόντα του αυτού φορτίου). Κατά συνέπεια η δύναμη θα είναι:

$$\mathbf{F} = \rho_e \mathbf{E} = -\epsilon_0 \epsilon_r \nabla^2 \psi_e \mathbf{E}$$



Ηλεκτροωσμωτική
ροή πλησίον
στερεάς επιφάνειας
Παράθεση πεδίου
ταχυτήτων και
δυναμικού

Δεδομένου του ότι η ροή επιβάλλεται λόγω του δυναμικού E , και με δύο συνιστώσες (x_1 , παράλληλη, x_2 κάθετη προς την επιφάνεια) να συνεισφέρουν στη δύναμη, το ισοζύγιο δυνάμεων είναι:

$$\eta \frac{d^2 v_1}{dx_2^2} - \frac{\partial p}{\partial x_1} = -\rho_e E$$

και

$$-\frac{\partial p}{\partial x_2} = \rho_e \frac{d\psi_e}{dx_2}$$

Υπετέθη ότι η ροή του ρευστού είναι παράλληλη προς τα τοιχώματα με αποτέλεσμα η συνιστώσα v_1 να είναι ανεξάρτητη του x_1 . Η κατακόρυφη συνιστώσα θεωρείται ότι δεν επηρεάζει και παραλείπεται στο ισοζύγιο δυνάμεων.

Απουσία βαθμίδας πίεσης και με αμελητέα τη βαρύτητα, η , ρ θα είναι ανεξάρτητη της x_1 οπότε:

$$\eta \frac{d^2 v_1}{dx_2^2} = -\rho_e E = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{d^2 \psi_e}{dx_2^2} E$$

Ηλεκτροφόρηση: Οι τύποι Smoluchowski και Huckel

Ο όρος ηλεκτροφόρηση αναφέρεται στην κίνηση αιωρούμενων σωματιδίων κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου στο αιώρημα.

Πειραματικά, έχει βρεθεί ότι η ταχύτητα των σωματιδίων, v , είναι ανάλογη προς την ένταση, E , του εφαρμοζόμενου πεδίου. Για σφαιρικού σχήματος σωματίδια η σχέση είναι:

$$v = \mu_E E$$

Όπου η μ_E ονομάζεται ηλεκτροφορητική κινητικότητα του σωματιδίου. Συνδέεται με το δυναμικό ζ . Υποτίθεται ότι ένα σωματίδιο υπάρχει σε ένα άπειρο υγρό. Η παλαιότερη λύση του προβλήματος δόθηκε από τον Smoluchowski (1921) για $ka \gg 1$ (λεπτή διπλοστιβάδα). Η επεξεργασία του προβλήματος ήταν η αυτή με την περίπτωση της ηλεκτροώσμωσης

Σύμφωνα με [Schmoluchowski](#) η σχέση μεταξύ ταχύτητας σωματιδίου και δυναμικού ζ είναι:

$$v = [\epsilon\zeta/\eta]E$$

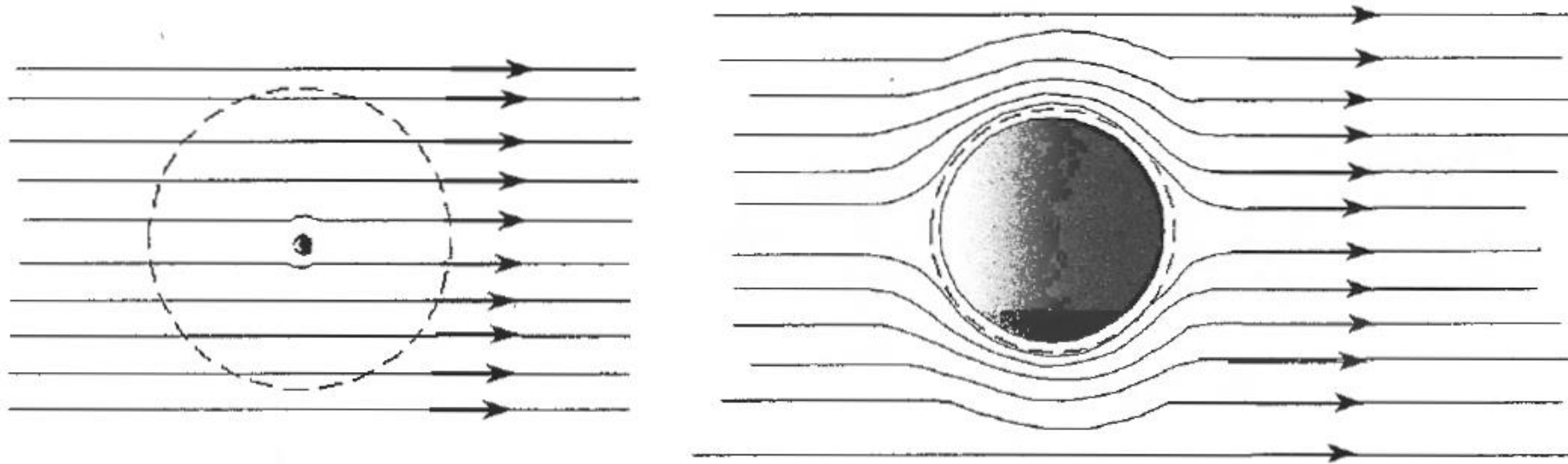
Οπότε, η ηλεκτροφορητική κινητικότητα θα είναι:

$$\mu_E = \epsilon\zeta/\eta.$$

Ο Hückel (1924) έλυσε το πρόβλημα της ηλεκτροφόρησης για την άλλη ακραία περίπτωση της πολύ μεγάλης ηλεκτρικής διπλοστιβάδας ($\kappa a \ll 1$). Στην περίπτωση αυτή οι γραμμές του πεδίου δεν επηρεάζονται από το σωματίδιο και η δύναμη η οποία σκείται στο σωματίδιο αντισταθμίζεται από την οπισθέλκουσα λόγω του ιξώδους του ρευστού, οπότε:

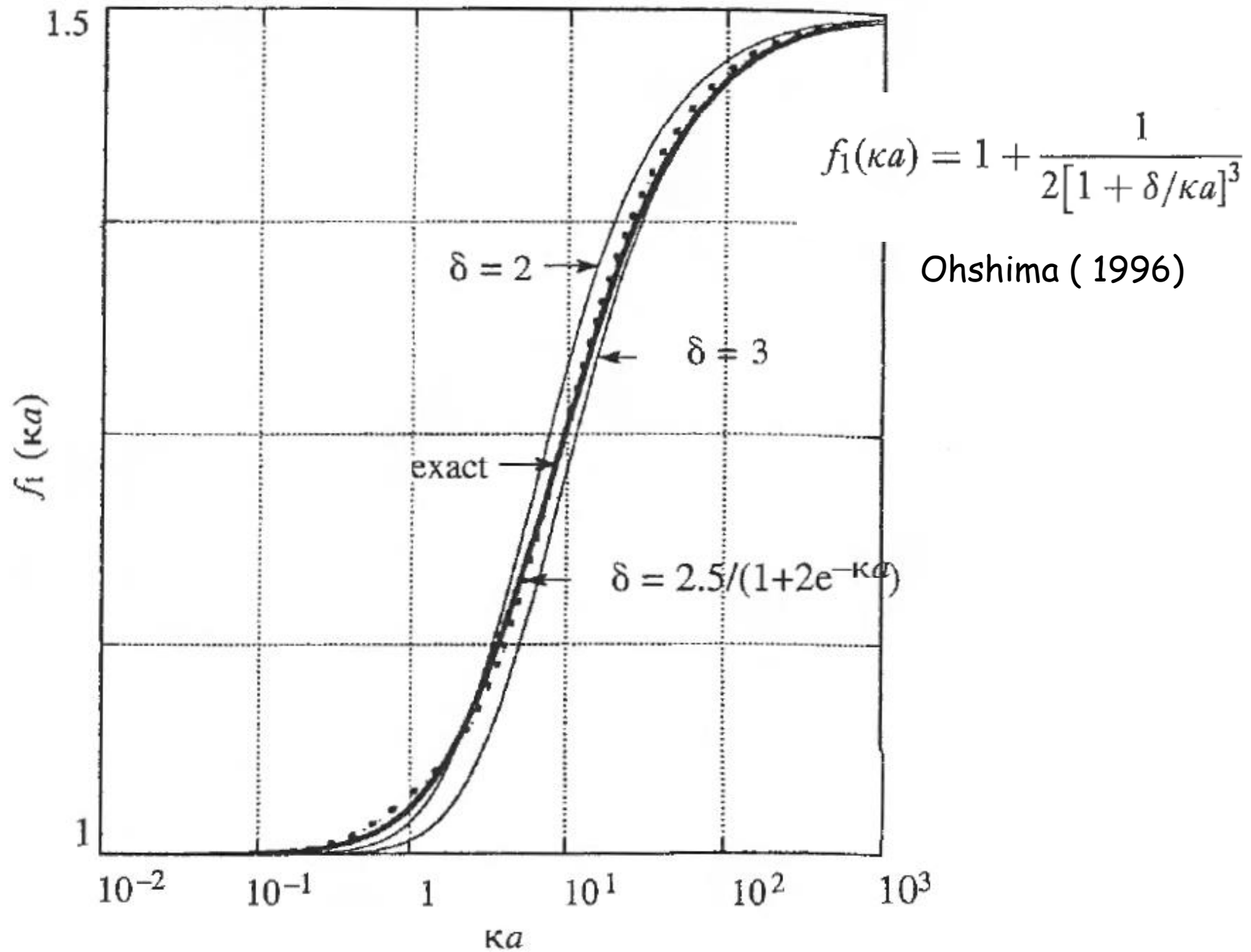
$$\mu_E = v/E = Q/6\pi\eta a = [2\epsilon\zeta/3\eta](1 + \kappa a) \approx 2\epsilon\zeta/3\eta$$

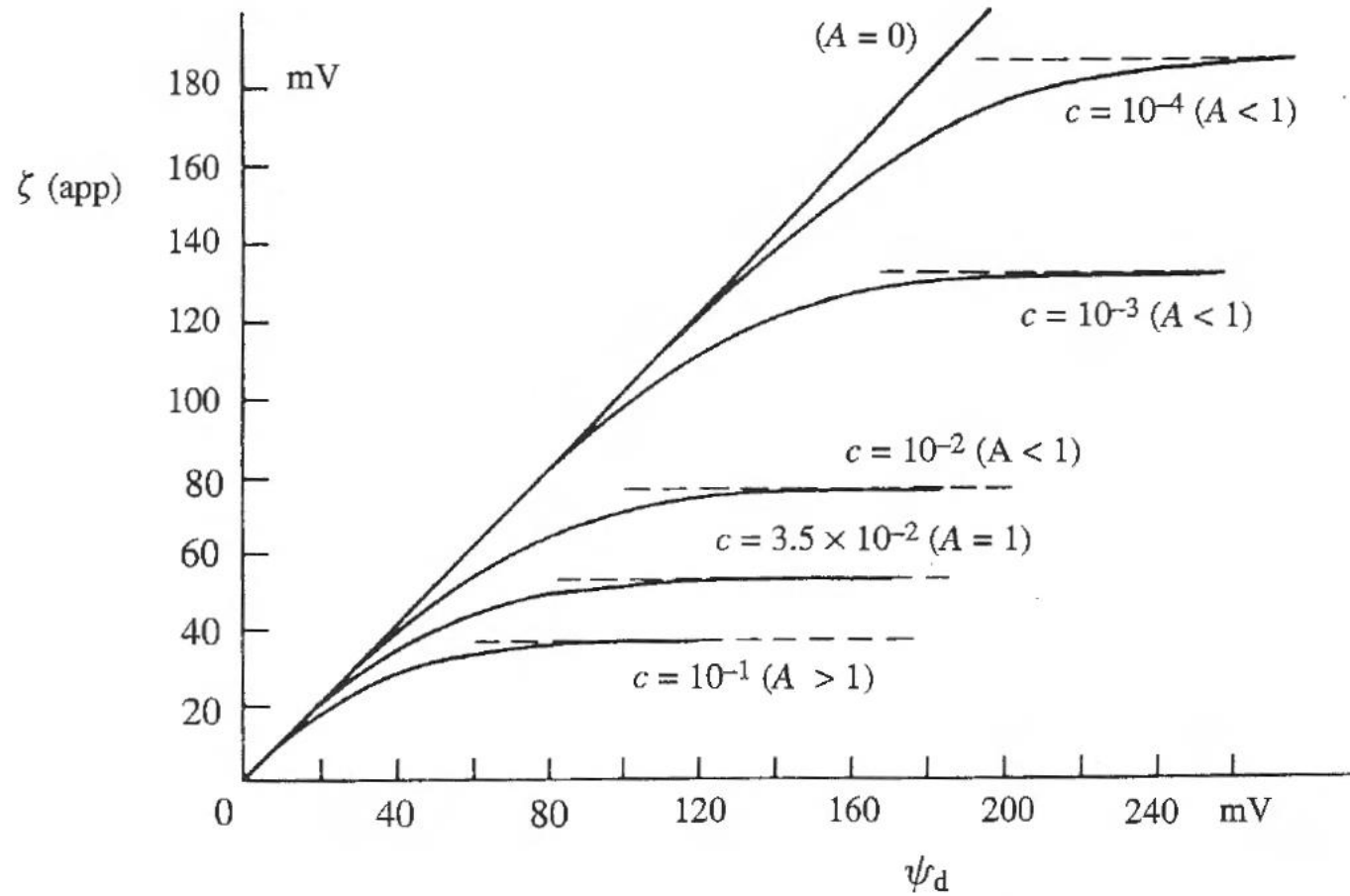
Τη διαφορά μεταξύ των δύο σχέσεων γεφύρωσε ο Henry (1931) ο οποίος έλαβε υπόψη τον τρόπο με τον οποίο τα σωματίδια επηρεάζουν τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου στη γειτονία του



$$\mu_E = [2\epsilon\zeta/3\eta]f_1(ka)$$

Όπου η $f(ka)$ είναι μονοτόνως μεταβαλλόμενη συνάρτηση η οποία παίρνει τιμές από 1.0 για $ka = 0$ έως 1.50 για $ka = \infty$. Προφανώς στο κάτω όριο συμπίπτει με τη λύση Hückel και στο άνω όριο με την εξίσωση Smoluchowski. Σε υψηλές τιμές ka η δύναμη επί του σωματιδίου οφείλεται αποκλειστικά στην ηλεκτροφορητική επιβράδυνση : Τα ιόντα της διπλοστιβάδας συμπαρασύρουν το ρευστό κατά την κίνησή τους και το σωματίδιο κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση. Σε πολύ χαμηλές τιμές της ka η διπλοστιβάδα υφίσταται τις ίδιες δυνάμεις αλλά δεν μεταφέρονται στο πολύ μικρού μεγέθους σωματίδιο. Το σωματίδιο στην περίπτωση αυτή συγκρατείται από το ιξώδες του ρευστού.





Φαινόμενο ηλεκτροκινητικό δυναμικό συναρτήσει του δυναμικού στο OHP, όταν η τιμή του Ψ_d καθορίζεται από ιξωδοηλεκτρικά φαινόμενα. c γραμμομοριακή συγκέντρωση

Το δυναμικό ροής

Το **δυναμικό ροής** (Streaming potential) είναι το δυναμικό το οποίο αναπτύσσεται στα άκρα τριχοειδούς, μεμβράνης, πορώδους διαφράγματος-εμβόλου, όταν ένα υγρό υπό (υδροστατική) πίεση αναγκάζεται να διέλθει δι αυτών.

Η διαφορά πίεσης, ΔP , συνδέεται με την ταυτόχρονη μεταφορά φορτίου και μάζας η οποία λαμβάνει χώρα με διάφορους μηχανισμούς

Στην ηλεκτρόσμωση, η επιφάνεια του τριχοειδούς, της μεμβράνης ή των πόρων σε πορώδες έμβολο, φέρουν ηλεκτρικό φορτίο, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικής διπλοστιβάδας. Το υγρό κινείται υπό την επίδραση πίεσης και μεταφέρει το καθαρό φορτίο, εκείνο το οποίο βρίσκεται στο κινητό μέρος της ηλεκτρικής διπλοστιβάδας (**διάχυτη διπλοστιβάδα**).

Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός **μόνιμου ρεύματος συναγωγής**. Λόγω της ανάπτυξης του ηλεκτρικού αυτού ρεύματος λόγω μόνης της ροής του ρευστού (χωρίς δηλαδή την εφαρμογή ηλεκτρικού δυναμικού) ονομάζεται **ηλεκτρικό ρεύμα ροής, I_s** .

Λόγω της μεταφοράς ιόντων λόγω ροής στα άκρα του τριχοειδούς συσσωρεύονται ιόντα αντιθέτου φορτίου
Ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού κατά μήκος του τριχοειδούς

Το δυναμικό αντιτίθεται στην μηχανική μεταφορά του φορτίου με την δημιουργία κίνησης ιόντων προς την αντίθετη κατεύθυνση και σε μικρότερο βαθμό με ηλεκτροώσμωση

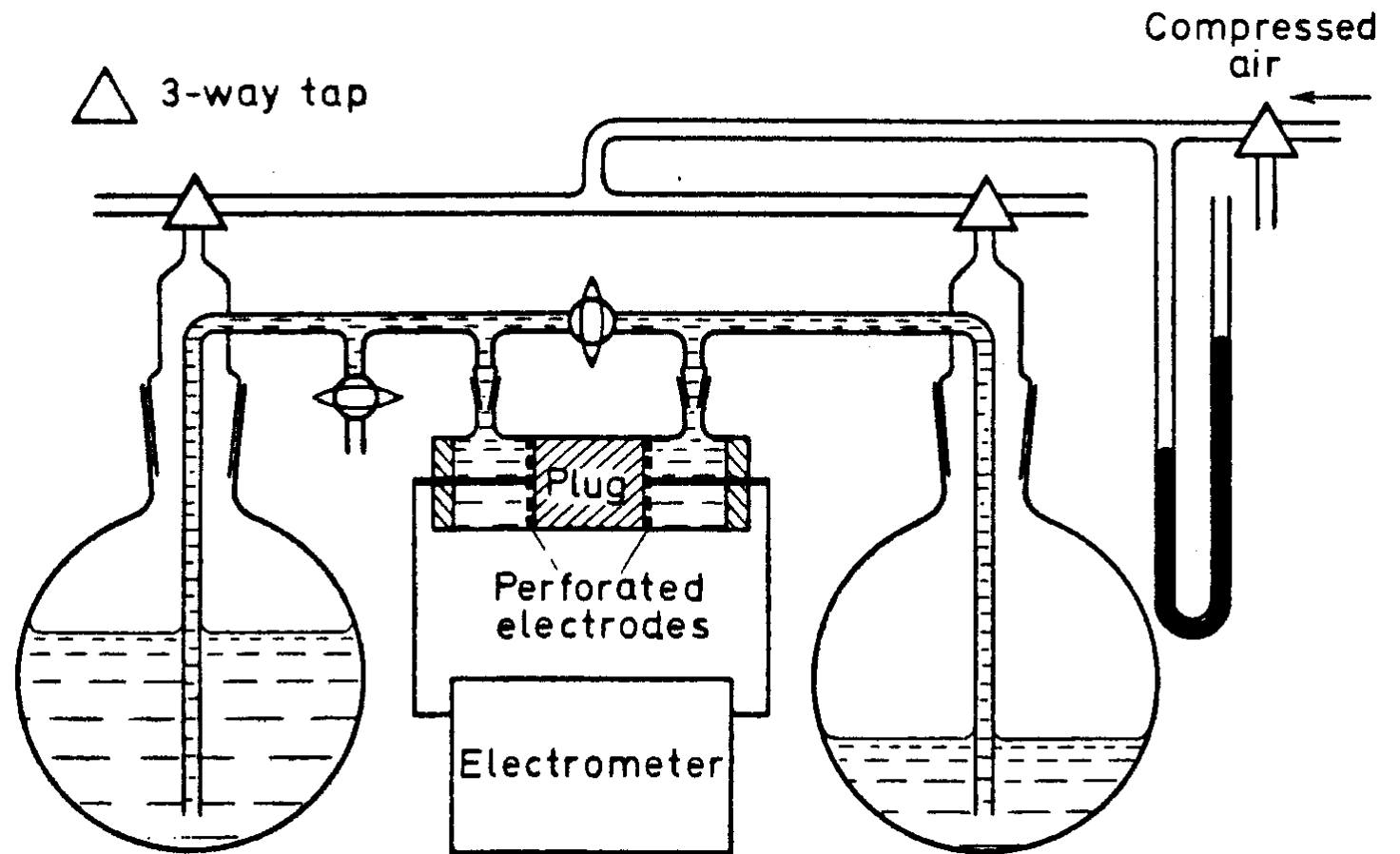
Η μεταφορά φορτίου, λόγω αυτών των δύο διεργασιών, ονομάζεται **ρεύμα διαρροής**. Το ρεύμα αυτό αυξάνει αυξανομένης της συσσώρευσης ιόντων μέχρι την επίτευξη μιας μόνιμης κατάστασης

Στην μόνιμη κατάσταση, το ρεύμα διαρροής και το ρεύμα ροής αλληλοαναιρούνται

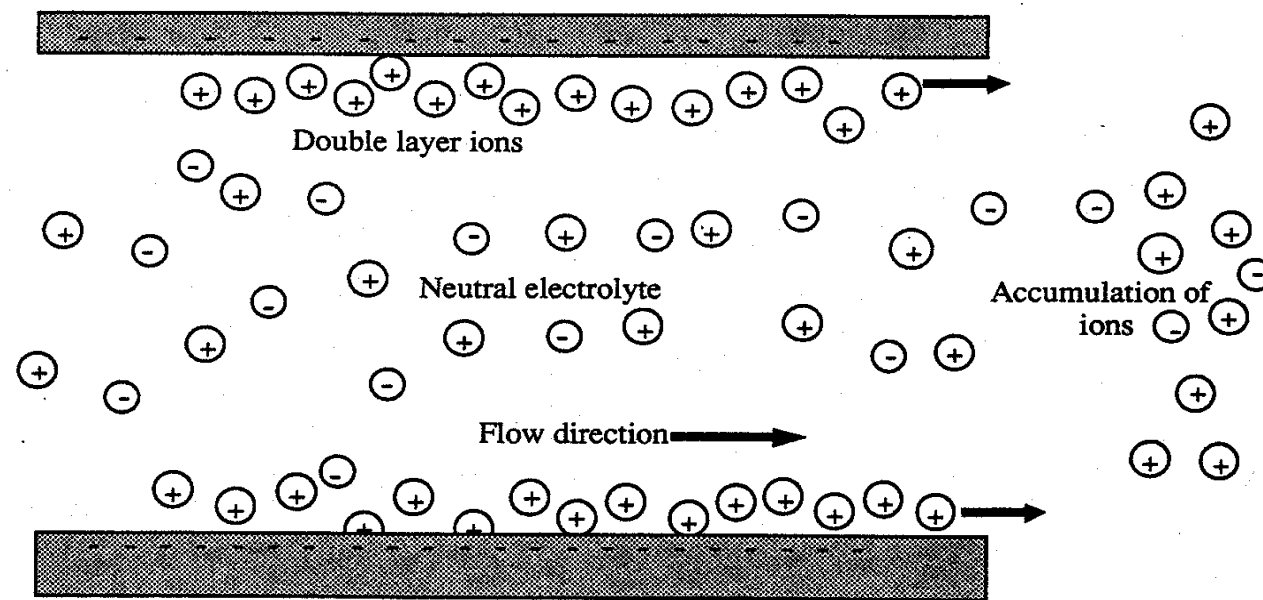
Η διαφορά δυναμικού η οποία αντιστοιχεί στην μόνιμη κατάσταση, αντιστοιχεί σε μια μέγιστη τιμή που ονομάζεται **δυναμικό ροής**

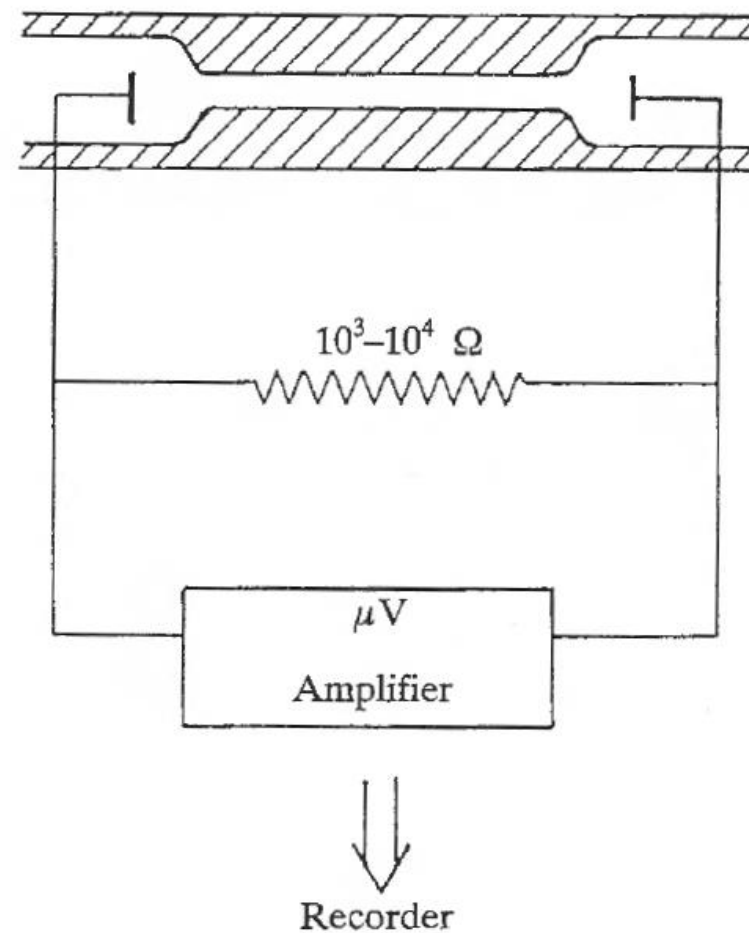
Το δυναμικό αυτό πρέπει να μετρείται συναρτήσει της πίεσης με βολτόμετρο υψηλής αντίστασης εισόδου

Πειραματική
διάταξη για
την μέτρηση
του
δυναμικού
ροής



Ρεύμα Ροής – Ρεύμα Διαρροής Μεταφορά Φορτίου και Μάζας





Μέτρηση ρεύματος ροής. Τα ηλεκτρόδια καλύπτονται με Pt για την αποφυγή πόλωσης και ροής του ρευστού. Η αντίσταση πρέπει να είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίστοιχη του κελίου και ο ενισχυτής microvolt θα πρέπει να έχει σύνθετη αντίσταση εισόδου περίπου $1 M\Omega$.

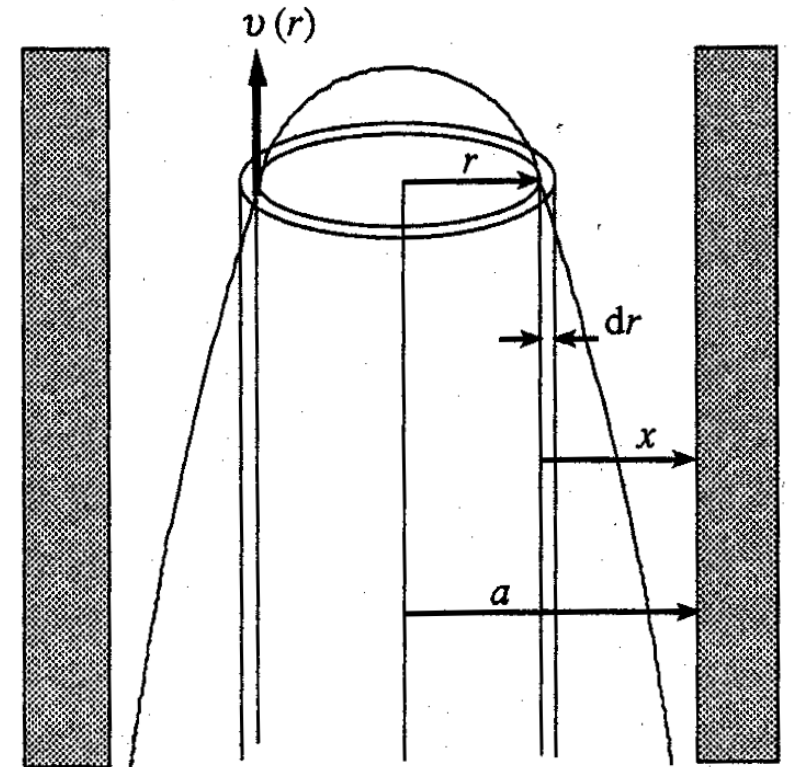
Δυναμικό ροής σε απλό τριχοειδές

Στρωτή Ροή ($Re < 2000$)
Πάχος Διπλοστοιβάδας \ll
Διάμετρος τριχοειδούς
Χαμηλή Ιοντική Ισχύς

$$\frac{E_s}{P} = \frac{\epsilon\epsilon_0\zeta}{\eta \left(K^L + \frac{2K^\sigma}{r} \right)}$$

Υψηλή Ιοντική Ισχύς

$$\frac{E_s}{P} = \frac{\epsilon\epsilon_0\zeta}{\eta K^L} \frac{R^C}{R^0}$$

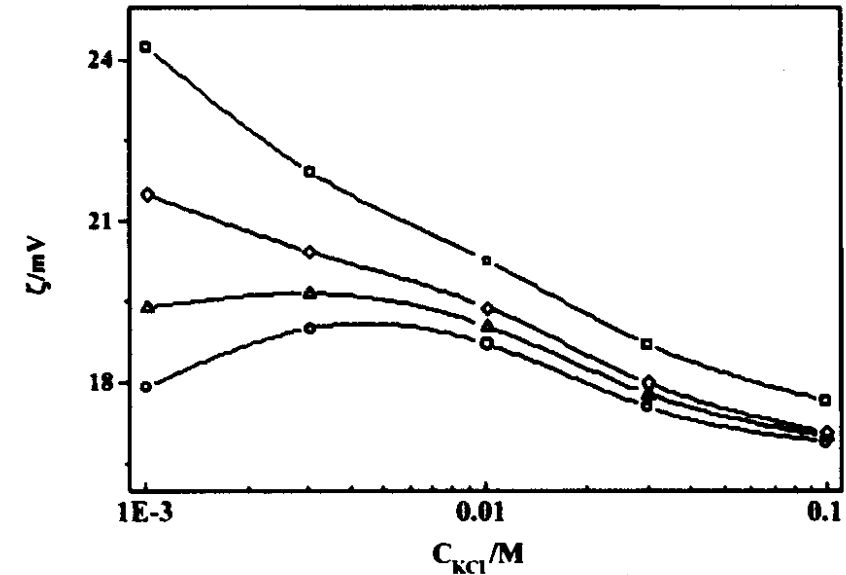


$$\frac{E_s}{P} = \frac{1}{K^*} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 RT}{\eta F} \left\{ \frac{F\zeta}{RT} [1 + 3\varphi f(0)] - \left[\frac{F\zeta}{RT} - \frac{2}{z_1} \ln 2 \right] g(Du_2) \right\}$$

$$\frac{E_s}{P} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \zeta (1 - 1.2\varphi)}{\eta K^*}$$

φ : κλάσμα όγκου του στερεού στο πορώδες έμβολο

K^* : αγωγιμότητα εμβόλου



Προσδιορισμός
του ζ-δυναμικού
από μετρήσεις
του δυναμικού
ροής

$$\frac{\exp(Ze\zeta / 2kT)}{\kappa a} \ll 1$$

κ = Debye parameter

a = particle radius

ζ = zeta potential

$$\Delta E = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \zeta}{\eta K_E} \Delta p$$

ΔE = Potential over capillary (V)

ϵ_r = media dielectric constant

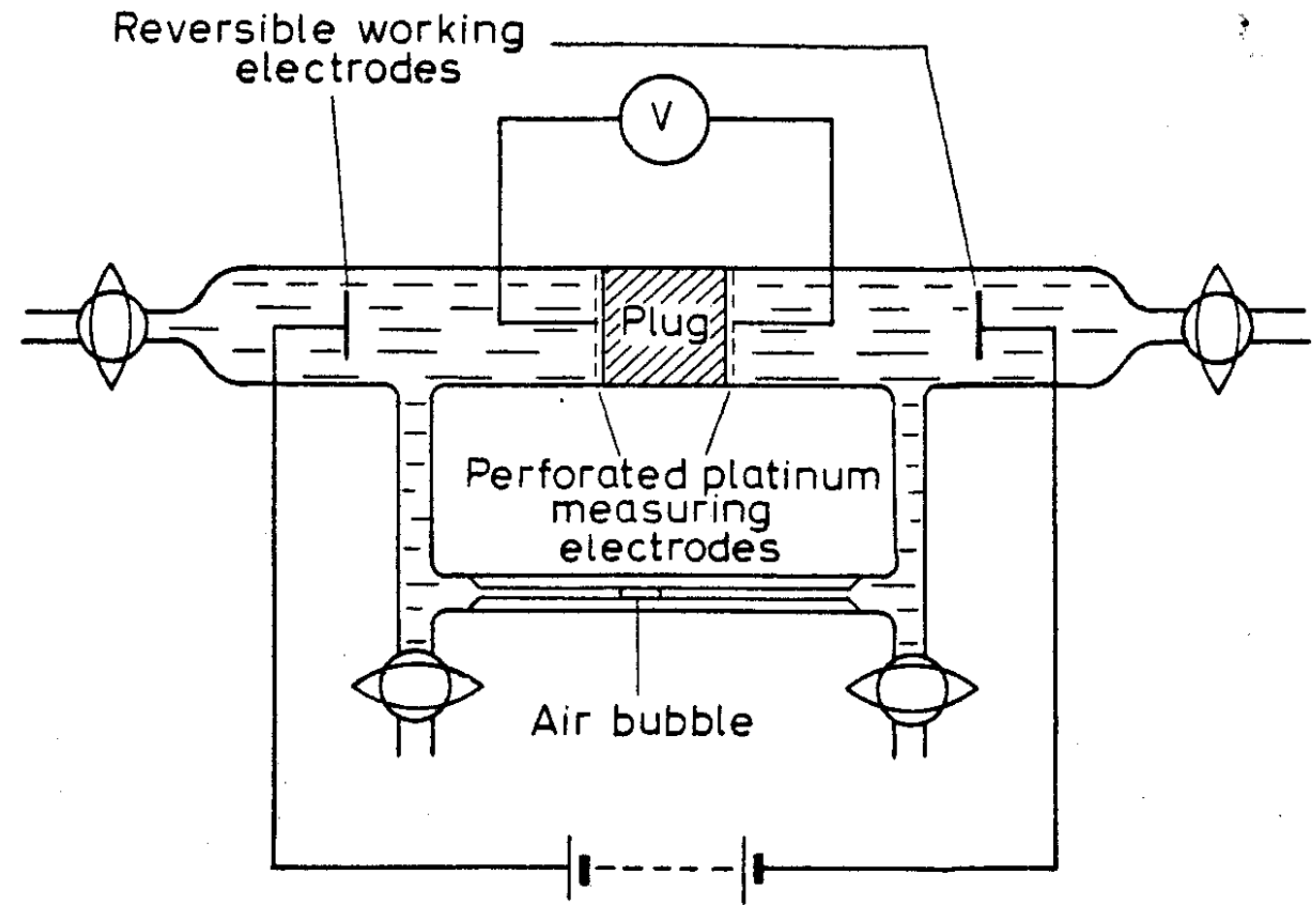
ϵ_0 = permittivity of free space (F/m)

η = medium viscosity (Pa·s)

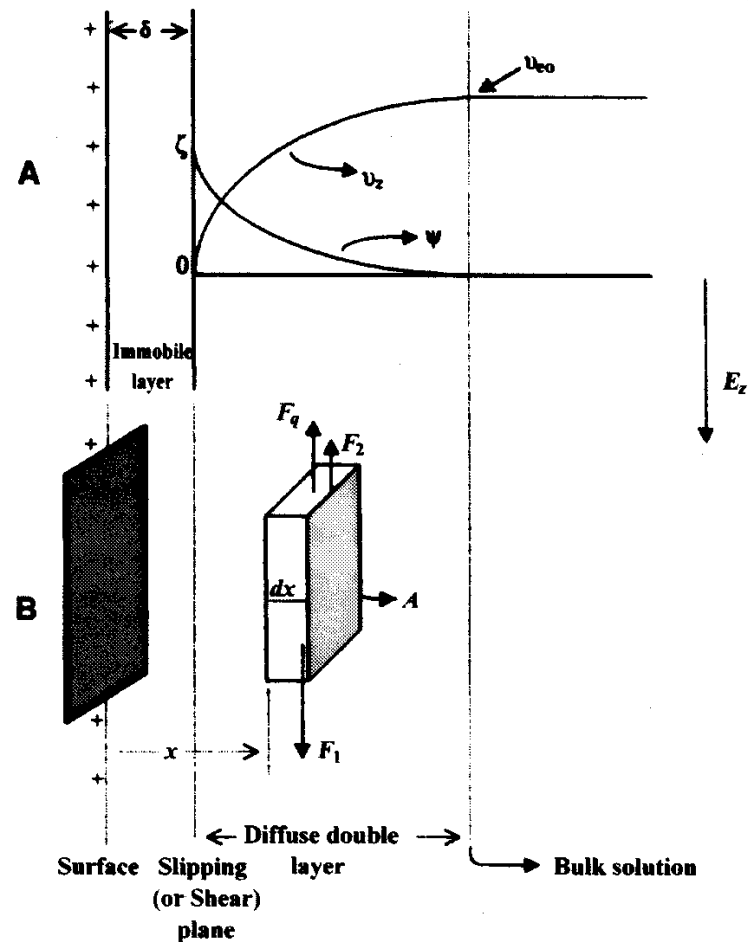
K_E = solution conductivity (S/m)

Δp = pressure drop across capillary (Pa)

Πειραματική
διάταξη για την
μελέτη της
ηλεκτρο-ώσμωσης



Ροή σε τριχοειδές
 ($10^{-3} < r < 10^{-1} \text{cm}$)
 Πάχος
 Διπλοστοιβάδας \ll
 ακτίνα τριχοειδούς
 ($\kappa r \gg 1$) \rightarrow επίπεδη
 επιφάνεια
 V_{eo} : ηλεκτρο-
 ωσμωτική
 ταχύτητα υγρού



ηλεκτρο- ώσμωση

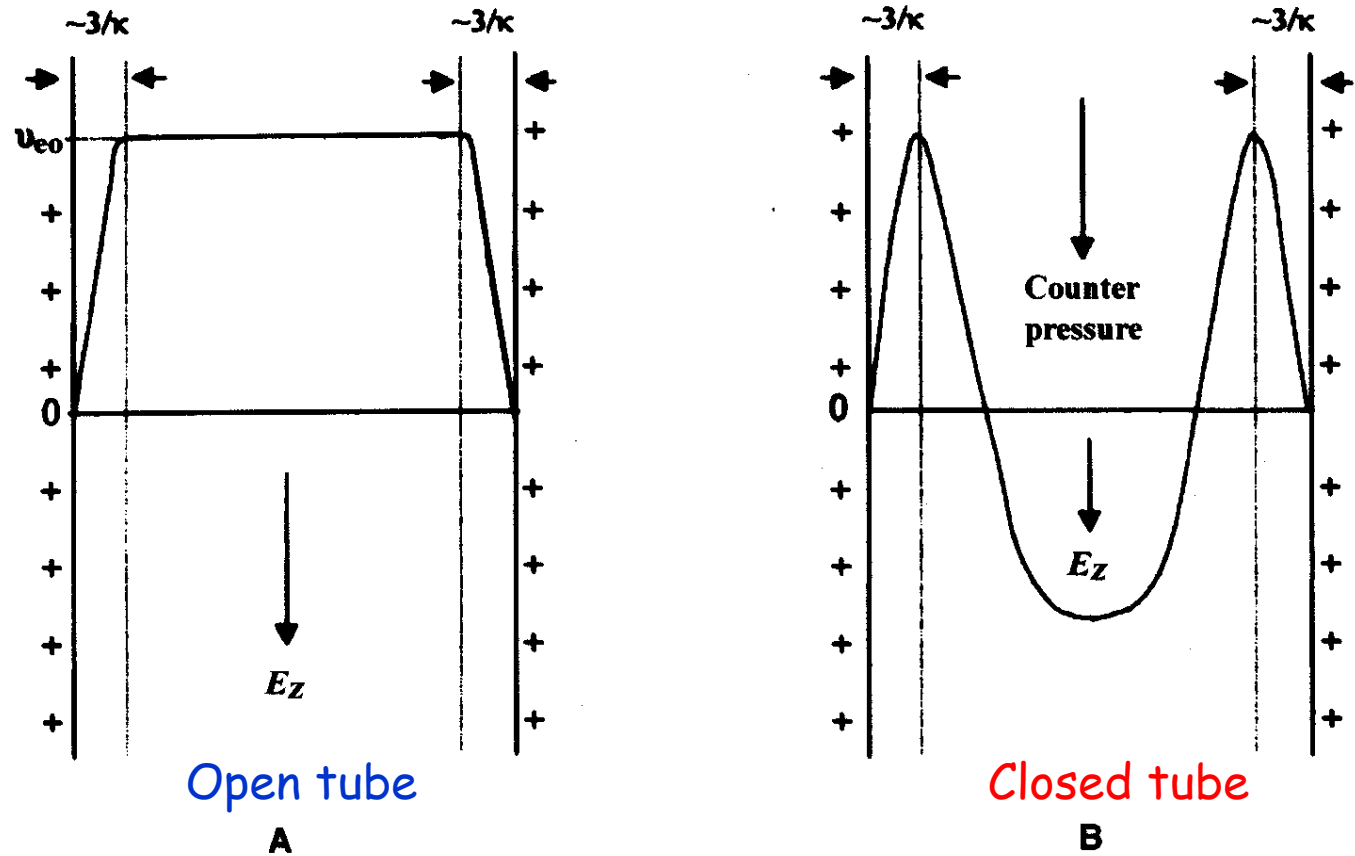
Υψηλή Αγωγιμότητα

$$\frac{V_{eo}}{I} = \frac{\epsilon\epsilon_0\zeta}{\eta K^L}$$

Χαμηλή Αγωγιμότητα

$$\frac{V_{eo}}{I} = \frac{\epsilon\epsilon_0\zeta}{\eta \left(K^L + \frac{2K^\sigma}{r} \right)}$$

Electroosmotic counter pressure



Προφίλ ταχυτήτων (A) ηλεκτροώσμωση (B) ηλεκτροωσμωτική αντίθετη πίεση (ηλεκτροώσμωση κλειστού σωλήνα). l/K το πάχος της διπλοστιβάδας

Υψηλή Αγωγιμότητα

$$\Delta P_{eo} = \frac{8\varepsilon\varepsilon_0 l \zeta}{\pi r^3 K^L}$$

Χαμηλή Αγωγιμότητα

$$\Delta P_{eo} = \frac{8\varepsilon\varepsilon_0 l \zeta}{\pi r^3 K^L + 2\pi r^3 K^\sigma}$$

Σε αντίθεση με την ηλεκτροσμωτική ροή η αντίστοιχη πίεση μπορεί να μετρηθεί με τους κατάλληλους αισθητήρες

Στενοί Τριχοειδείς Σωλήνες

Slit-Shaped, Cylindrical

Πορώδη Δισκία (ετερογενή, περίπλοκη περιγραφή)

Διαφορές ηλεκτροόσμ ωσης- δυναμικού ροής

- Στην **ηλεκτροόσμωση**, ροή ηλεκτρολύτη λόγω εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου
- Στο **δυναμικό ροής** ο ηλεκτρολύτης ρέει λόγω εφαρμογής διαφοράς πίεσης

