



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία

Β. Μπίνας, Γ. Κυριακίδης
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

*Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 Ελλάδα
(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 4.0 Greece)*



CC BY-NC-ND 4.0 GR

[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
πρόγραμμα για την ανάπτυξη



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

ΔΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΙΝΑΣ

Post Doc Researcher, Chemist
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης
Email: binasbill@iesl.forth.gr
Thl. 1269

Crete Center for Quantum Complexity and
Nanotechnology
Department of Physics, University of Crete

Transparent Conductive Materials (Head prof. G. Kiriakidis)
Institute of Electronic Structure & Laser – IESL
Foundation for Research and Technology - FORTH



Σύστημα Κενού / Θεωρία Κενού



Το Σύστημα Κενού

Το σύστημα κενού ενός Η.Μ. σκοπό έχει την αφαίρεση του αέρα ή άλλων αερίων μέσα από την κολώνα



Το Σύστημα Κενού

Το σύστημα κενού ενός Η.Μ. σκοπό έχει την αφαίρεση του αέρα ή άλλων αερίων μέσα από την κολώνα

- Μόρια αερίου *συγκρούονται* με την δέσμη ηλεκτρονίων την οποία σκεδάζουν και έτσι δημιουργείται ασαφής εικόνα με μειωμένη αντίθεση,
- Η παρουσία αερίων στο θάλαμο της πηγής *δημιουργεί ιονισμό και ηλεκτρικές εκκενώσεις* και επομένως αστάθεια της δέσμης ηλεκτρονίων,
- Τα αέρια *ελαττώνουν τον χρόνο ζωής* του νήματος της καθόδου, και
- Βρωμίζουν το δείγμα αφήνοντας χαρακτηριστικά μαύρα σημάδια (κυρίως κύκλους άνθρακα)



Μονάδες και Ονοματολογία

Κενό είναι το αντίστροφο της πίεσης. Επομένως υψηλό κενό σημαίνει χαμηλή πίεση. Γι' αυτό και η μέτρηση του κενού γίνεται σε μονάδες πίεσης. Η πιο συνηθισμένη μονάδα είναι το χιλιοστό τις κανονικής πίεσης

Κατηγορίες συστημάτων κενού

• Χαμηλό κενό	$1 \cdot 10^{-3}$ Torr
• Ενδιάμεσο κενό	$10^{-3} - 10^{-5}$ Torr
• Υψηλό κενό	$10^{-6} - 10^{-8}$ Torr
• Υπερυψηλό κενό	$< 10^{-9}$ Torr

Μονάδα	Πίεση & ισοδυναμίες
Pascal	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$
Ατμοσφαιρική πίεση (atm)	$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} \cong 1 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ mbar}$
Bar	$1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr} = 0.987 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$
Torr	$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$

το κενό που χρειαζόμαστε για την καλή λειτουργία του H.M. είναι της τάξης 10^{-6} Torr. Στην περίπτωση αυτή ένα κυβικό εκατοστό αέρα περιέχει 3×10^{10} μόρια, Η απόσταση που πρέπει να διανύσει ένα μόριο πριν συγκρουστεί (δηλαδή η μέση ελεύθερη διαδρομή του) με άλλο μόριο είναι μεγαλύτερη από 50 μέτρα. Εφόσον το μήκος της κολώνας του H.M. είναι περίπου 1 μέτρο, τότε αυτό το κενό είναι υπερ αρκετό για να μην έχουμε στατιστικά καμία κρούση μορίου – μορίου ή ηλεκτρονίου – μορίου αέρα κατά την διαδρομή της δέσμης ηλεκτρονίων μέσα στην κολώνα.



Μονάδες και Ονοματολογία

Χαρακτηριστικές ιδιότητες συστημάτων κενού.

Κενό	Πίεση (Torr)	Πυκνότητα (μόρια cm^{-3})	Μέση ελεύθ. διαδρ. (m)	χρόνος/ monolayer (s)
Ατμόσφαιρα	760	2×10^{25}	7×10^{-8}	10^{-9}
Χαμηλό κενό	1	3×10^{22}	5×10^{-5}	10^{-6}
Ενδιάμεσο κενό	10^{-3}	3×10^{19}	5×10^{-2}	10^{-3}
Υψηλό κενό	10^{-6}	3×10^{16}	50	1
UHV	10^{-10}	3×10^{12}	5×10^5	10^4



Δημιουργία Κενού

Η δημιουργία του κενού γίνεται με τις λεγόμενες **αντλίες κενού** οι οποίες προορίζονται για την επίτευξη διαφόρων βαθμίδων κενού

Δημιουργία προκαταρκτικού κενού

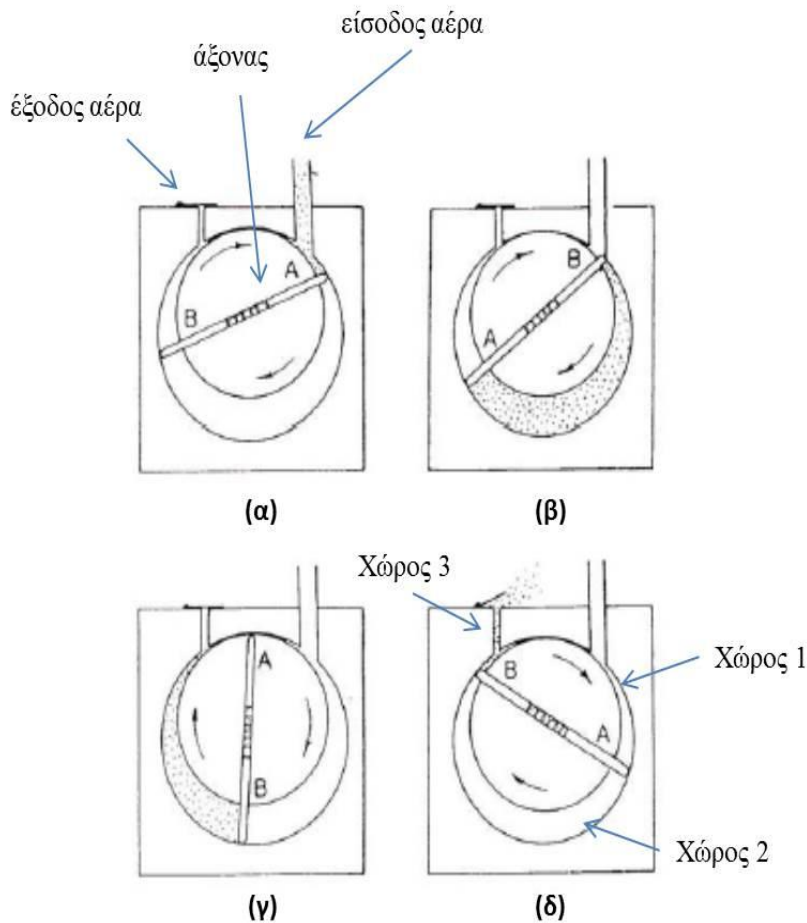
μέχρι 10^{-3} torr, Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται είναι *μηχανικές ή περιστροφικές και οι κρυοαντλίες*.

Πιο διαδεδομένες είναι οι **μηχανικές**, μίας ή δύο βαθμίδων κυρίως γιατί απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και σχεδόν καθόλου επίβλεψη. Εντούτοις, είναι θορυβώδεις και δημιουργούν κραδασμούς.

Οι **κρυοαντλίες** είναι αθόρυβες χωρίς κραδασμούς (επειδή δεν έχουν καθόλου κινητά μέρη) αλλά χρειάζονται συχνή επιτήρηση για να διατηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία (77K, περιοχή υγρού αζώτου).



Αρχή Λειτουργίας μηχανικής αντλίας



- έκκεντρος περιστροφέας βρίσκεται μέσα σένα κύλινδρο με λάδι, έχει διαμετρικά δύο άξονες με ελατήρια.
- Όπως περιστρέφεται ο περιστροφέας παρασύρει ποσότητα αέρα από την προς εκκένωση περιοχή, την συμπιέζει και την αναγκάζει να διαφύγει από την έξοδο.
- Ο κύκλος εισόδου – εξόδου γίνεται πολύ γρήγορα και μπορεί να επαναλαμβάνεται σε μία ακόμη βαθμίδα (ακόμη ένα τέτοιο σύστημα) που χρησιμοποιεί το ίδιο άξονα κίνησης, οπότε η αντλία είναι δύο βαθμίδων
- Το μέγιστο κενό που μπορούν να δημιουργήσουν είναι συνάρτηση της στεγανότητας των αξόνων με τα τοιχώματα της αντλίας καθώς και του περιστροφέα με τα τοιχώματα.
- Επίσης στην έξοδο της αντλίας τοποθετείται φίλτρο για την συγκράτηση των σταγονιδίων λαδιού που παρασύρονται προς τα έξω μαζί με τον αέρα.



Αρχή Λειτουργίας κρυοαντλίας

Οι κρυοαντλίες είναι πολύ πιο απλές. Βασίζονται στην αρχή ότι τα *μόρια αέρα έρχονται σε επαφή με πολύ ψυχρές επιφάνειες, συμπυκνώνονται και κατακρατούνται*. Για τον λόγο αυτό εκείνο που χρειάζεται είναι απλώς ένας κύλινδρος, στο εξωτερικό του οποίου υπάρχει ένας δεύτερος που πρέπει να γεμίζεται συνεχώς με υγρό άζωτο (77K) για την δημιουργία της ψυχρής επιφάνειας. Είναι πολύ πιο καθαρές σε λειτουργία από τις περιστροφικές αλλά καταναλώνουν πολύ άζωτο και επίσης πρέπει κανείς να τις γεμίζει πολύ συχνά οπότε είναι γενικώς πιο δύσχρηστες.

- έχουν πολύ υψηλή ταχύτητα
- δημιουργούν πολύ καθαρό κενό στην περιοχή πιέσεων 10^{-3} - 10^{-10} Torr
- Παγιδεύουν τα μόρια του αέρα σε μεταλλικές επιφάνειες ή μικροπορώδεις επιφάνειες που ψύχονται σε θερμοκρασία $< 120\text{K}$.
- Για την λειτουργία τους απαιτείται η χρήση προκαταρκτικού κενού $\sim 10^{-3}$ Torr.
- Είναι πολύ ακριβές και
- δεν μπορούν να αντλήσουν ικανοποιητικά αέρια όπως H_2 , Ne και He που έχουν υψηλή τάση ατμών στους 20K.

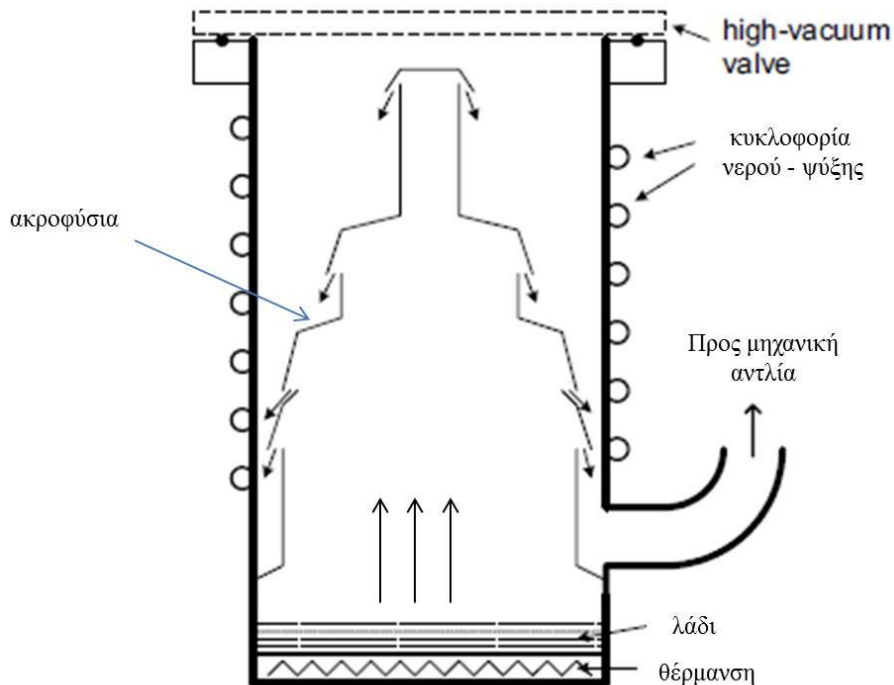


Δημιουργία Κενού

Δημιουργία υψηλού κενού

μέχρι 10^{-7} torr οι πιο συνηθισμένες συσκευές είναι οι λεγόμενες αντλίες διαχύσεως.
Ανακαλύφθηκαν το 1915 και βελτιώθηκαν την δεκαετία του 20

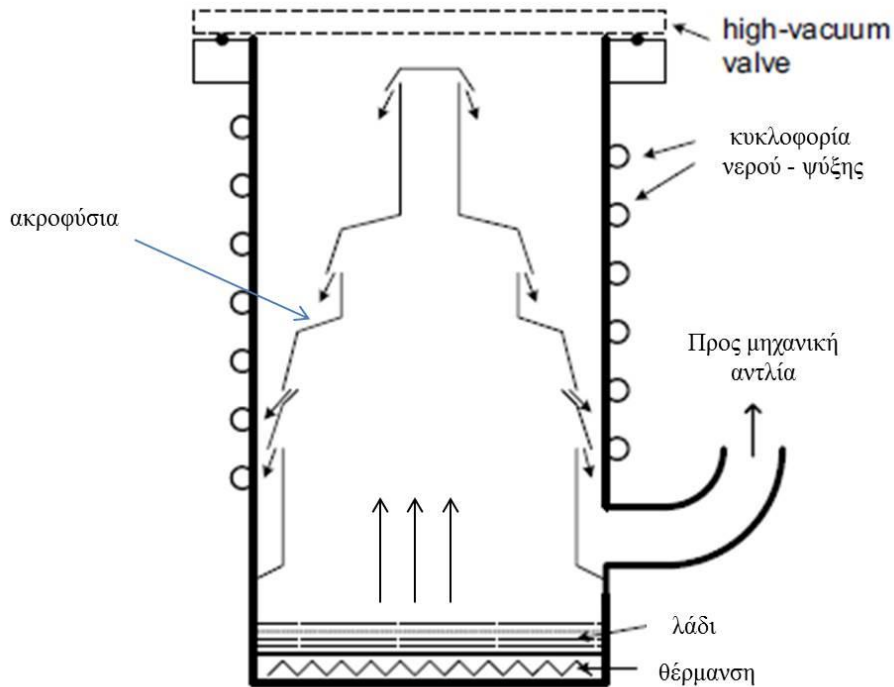
Αρχή λειτουργίας αντλίας διαχύσεως





Δημιουργία Κενού

Αρχή λειτουργίας αντλίας διαχύσεως

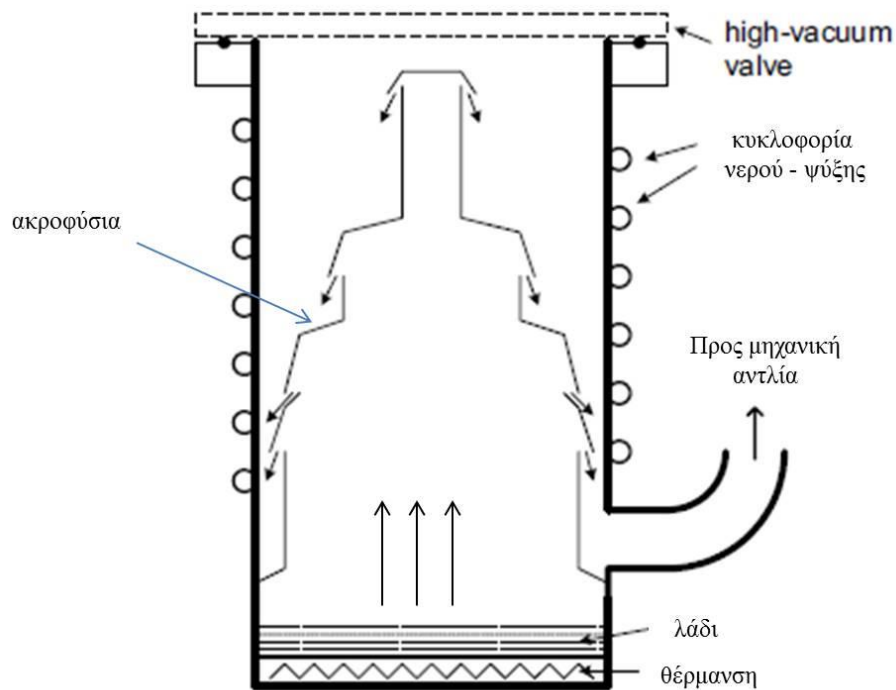


- στο κάτω μέρος κατάλληλο λάδι, το οποίο θερμαίνεται και αεριοποιείται, ανερχόμενο προς τα επάνω.
- Τα μόρια του λαδιού, αναγκάζονται να περάσουν μέσα από λεπτά ακροφύσια και να κατευθυνθούν προς τα κάτω υπό μεγάλη ταχύτητα, παρασέρνοντας μαζί τους τα ελαφρύτερα μόρια αέρα.
- Όταν το ζεστό λάδι ακουμπήσει τα τοιχώματα του δοχείου τα οποία διατηρούνται ψυχρά με την κυκλοφορία του νερού, συμπυκνώνονται και επιστρέφουν στον πυθμένα του δοχείου ακολουθώντας πάλι τον ίδιο κύκλο.
- Με αυτόν τον τρόπο, μόρια συνεχώς αναγκάζονται να μαζευτούν στο κάτω μέρος του δοχείου το οποίο είναι συνδεδεμένο με μία μηχανική αντλία, η οποία στην συνέχεια τα αντλεί και τα διοχετεύει στο περιβάλλον.



Δημιουργία Κενού

Αρχή λειτουργίας αντλίας διαχύσεως



Η αποτελεσματικότητα μιας αντλίας διαχύσεως εξαρτάται από την ποιότητα του λαδιού που χρησιμοποιεί, από τον αριθμό και την αναβάθμιση των ακροφυσίων και από την διαφορά θερμοκρασίας λαδιού ψυχρού εξωτερικού τοιχώματος.



Δημιουργία Κενού

Κύριο Πρόβλημα

- Η χρησιμοποίησης της **μηχανικής αντλίας** οδηγεί σε δημιουργία κραδασμών δίπλα σε Η.Μ., όπου απαιτούνται συνθήκες πλήρους σταθερότητας για την σωστή παρατήρηση, (παρακάμπτεται με την εισαγωγή μιας δεξαμενής αέρος μεταξύ μηχανικής και διαχύσεως).
- Λόγω του μικρού ποσοστού αέρος που διοχετεύεται από την διαχύσεως, όταν η πίεση είναι μικρότερη από 10^{-5} Torr, και του σχετικά μεγαλύτερου ρυθμού άντλησης της περιστροφικής αντλίας, δεν είναι απαραίτητο να λειτουργεί η μηχανική συνεχώς.
- Αέρια από την διαχύσεως μπορούν να αποθηκεύονται μέσα σε μια δεξαμενή την οποία αντλεί η μηχανική μόνο όταν η πίεση σε αυτή είναι 10^{-2} ή 10^{-1} Torr, γεγονός που ρυθμίζεται είτε αυτόνομα είτε από τον ίδιο τον χρήστη.
- Έτσι υπάρχει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα που κανείς μπορεί να δουλέψει στο Η.Μ. χωρίς προβλήματα κραδασμών.

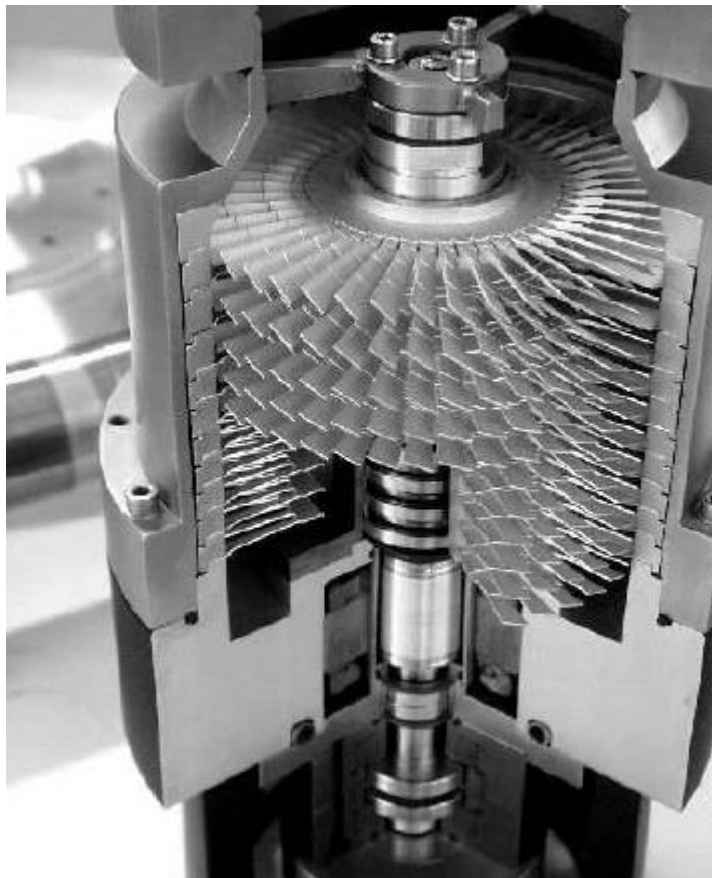


Δημιουργία Κενού

- Μια μέση αντλία διαχύσεως, αντλεί αέρα με μία ταχύτητα $\sim 100\text{lt} / \text{sec}$. Αν και η τιμή αυτή φαίνεται πολύ μεγάλη, εντούτοις πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι σε πίεση 10^{-5} torr τα 100 λίτρα αέρος ισοδυναμούν με 0.001 ml αέρος υπο ατμοσφαιρική πίεση.
- Επομένως μία αντλία διαχύσεως διοχετεύει περίπου 0.1 ml /min δηλ. πολύ περισσότερο από όσο διοχετεύεται σε αυτή από την διαχύσεως.
- *Επομένως ο συνδυασμός διαχύσεως – μηχανικής είναι ικανοποιητικός για την άντληση της κολώνας του H.M..*



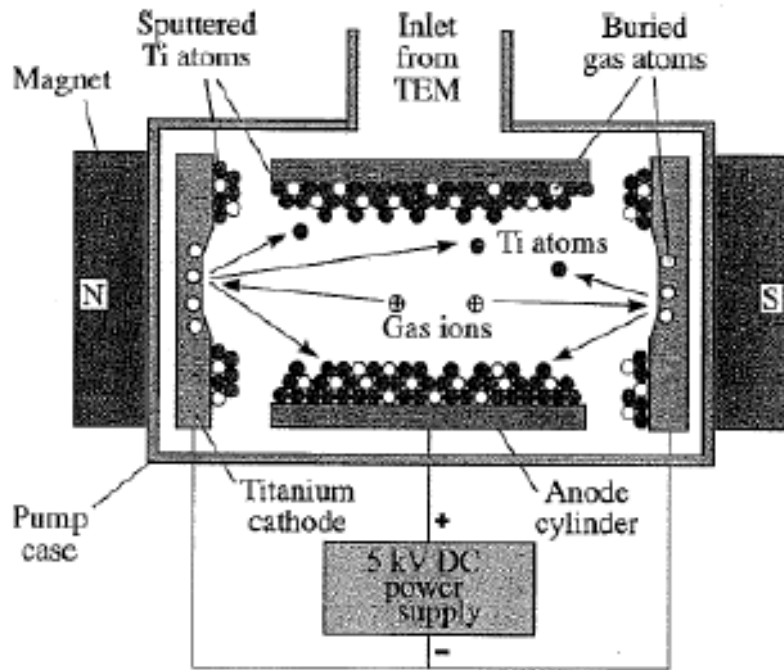
Τουρμπομοριακές αντλίες



οι **turbomolecular** αντλίες έχουν μεγάλη έξοδο (throughput), τυπική ταχύτητα άντλησης 10^3 liters/s και $\varnothing P < 10^{-10}$ Torr. Δεν μπορούν να αντλήσουν ικανοποιητικώς ελαφριά μόρια με μικρή μάζα και ιδιαίτερα υδρογόνο ενώ είναι ακριβές και υποφέρουν από κραδασμούς.



Ιοντικές αντλίες



Οι **sputter-ion** είναι ικανές να διατηρήσουν το κενό σε ένα **καθαρό στατικό σύστημα** (δεν μπορούν να αντλήσουν ένα βαρύ φορτίο).



Αντλίες Προσρόφησης

Cryogenic pumps use LN₂ to cool molecular sieves with large internal surface areas ($\sim 10^{-6}$ Torr)



The cryogenic pumps

- are oil-free and vibration-free
- are trapping pumps



Όργανα μέτρησης κενού

ιοντικοί μετρητές (ion ή Bayard-Alpert gauges): περιοχή πιέσεων 10^{-4} έως 10^{-9} Torr.

Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στον *ιονισμό του αερίου από ηλεκτρόνια* που εκπέμπονται από ένα θερμαινόμενο νήμα. Το ρεύμα των ιόντων που μετράται είναι ευθέως ανάλογο του αριθμού των μορίων και της πίεσης μέσα στο σύστημα κενού.

μετρητές Pirani (Pirani gauges) και οι **μετρητές θερμοζεύγους** λειτουργούν στην περιοχή πιέσεων $1\text{atm}-10^{-4}$ Torr & χρησιμοποιούνται συνήθως για την μέτρηση του προκαταρκτικού κενού. Στηρίζονται στην μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας του αερίου που είναι γραμμικώς ανάλογη της πίεσης του αερίου.

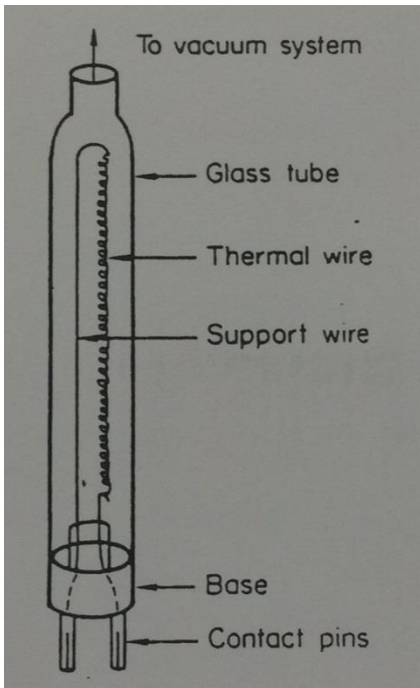
μετρητές χωρητικότητας (capacitance gauges) ή Baratron λειτουργούν με υψηλή ακρίβεια σε πιέσεις $1\text{ atm}-10^{-5}$ Torr



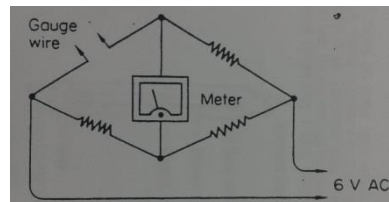
Όργανα μέτρησης κενού

Αρχή λειτουργίας μετρητή Pirani

Αν ένα θερμαινόμενο σύρμα (νήμα) βρεθεί σε περιοχή που υπάρχει αέριο, τα μόρια του αερίου που θα έρθουν σε επαφή με το σύρμα **θα μειώσουν την θερμοκρασία του νήματος**, έτσι ώστε η τελική θερμοκρασία του να είναι συνάρτηση του αριθμού των μορίων δηλ. της πίεσης του αερίου. *Επειδή ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, τότε η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να αναχθεί σε μέτρηση της πίεσης ή του κενού.*



- Αποτελείται από έναν γυάλινο κύλινδρο, το ένα άκρο του οποίου είναι ανοικτό και συνδεδεμένο με τον χώρο όπου θα μετρηθεί το κενό.
- Οι δύο επαφές στο κάτω μέρος αποτελούν τους ακροδέκτες για την μέτρηση της αντίστασης.



- Η αντίσταση μετράται με αρκετή ακρίβεια με την βοήθεια μιας γέφυρας Wheatstone



Όργανα μέτρησης κενού

μετρητής Penning

Για την μέτρηση υψηλού κενού (δηλαδή στην περιοχή 10^{-3} torr έως 10^{-6} torr).

βασίζεται στην αρχή μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αερίου σε χαμηλή πίεση, και μοιάζει με θερμιονική λυχνία. Υψηλή τάση (1 έως 2 kV) εφαρμόζεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται μέσα στην περιοχή ενός ισχυρού μόνιμου μαγνήτη. Ηλεκτρόνια εκπέμπονται από μία ψυχρή κάθοδο για να ξεκινήσει ο ιονισμός του αερίου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Τα θετικά ιόντα που σχηματίζονται έλκονται από την κάθοδο, αλλά επειδή υπάρχει το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, οι τροχιές τους δεν είναι ευθύγραμμες. Ακολουθούν ελικοειδής τροχιές και έτσι αυξάνει ο χρόνος κίνησής τους με αποτέλεσμα να κάνουν πολλές κρούσεις με μόρια του αέρα, να δημιουργούνται καινούργια ιόντα και επομένως ο συνολικός αριθμός αυτών που δημιουργούνται να οδηγεί σε μεγαλύτερα ρεύματα. **Επειδή λοιπόν το ρεύμα είναι ανάλογο των κρούσεων, επομένως ανάλογο της πίεσης του αερίου, η μέτρηση του ρεύματος αποτελεί μέτρο του κενού που επικρατεί μέσα στον θάλαμο.**

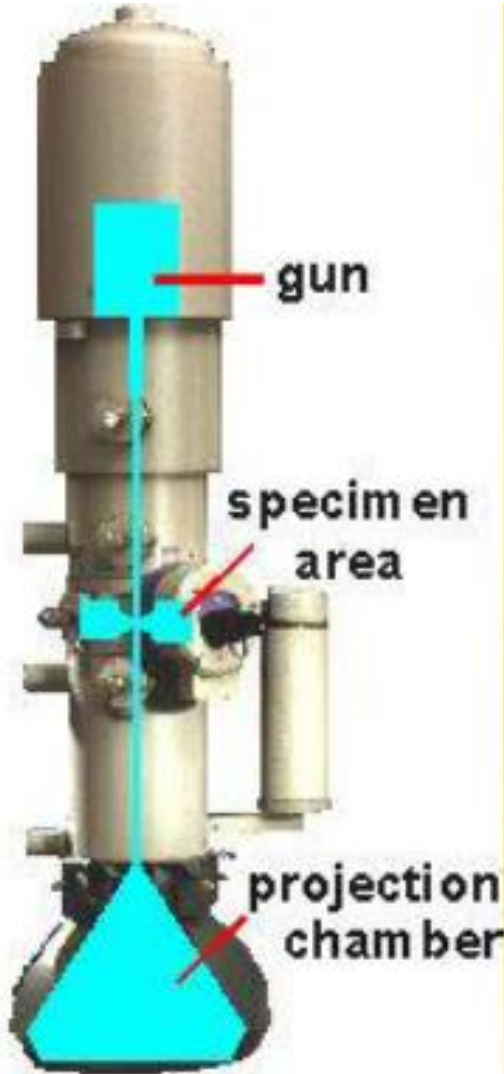


Σχεδιασμός Συστήματος Κενού

εξαρτάται από τον

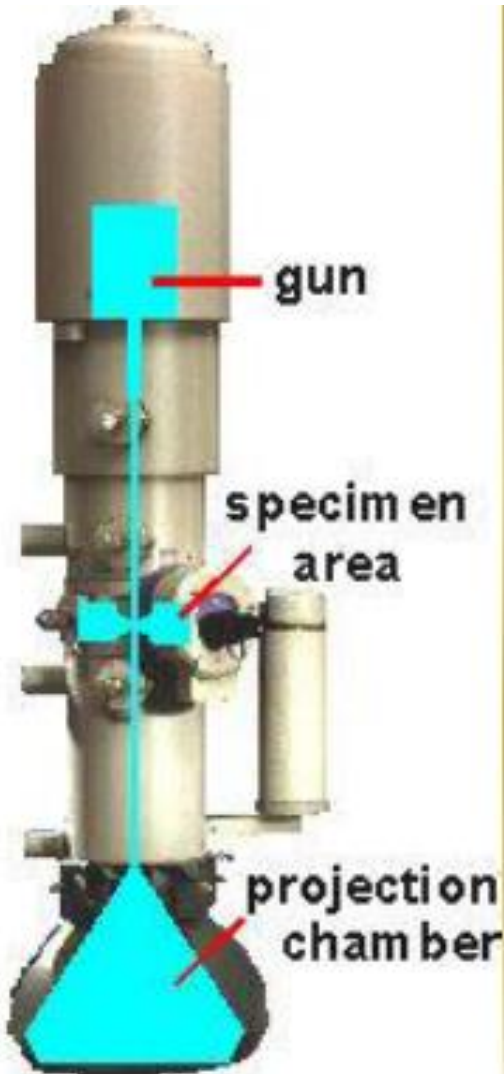
- *χώρο που θα εκκενωθεί,*
- *το μέγιστο επιθυμητό κενό που πρέπει να επιτευχθεί,*
- *την ταχύτητα εκκένωσης και το*
- *κόστος δαπάνης που προτίθεται να γίνει.*

Ειδικότερα για τις ανάγκες των συστημάτων στην Ηλεκτρονική Μικροσκοπία, όπου το ύψος κενού δεν είναι απαραίτητο να είναι πολύ μεγάλο (μέχρι 10^{-6} torr είναι ικανοποιητικό), ο συνδυασμός μηχανικής αντλίας – αντλίας διαχύσεως, αποτελεί την λύση του προβλήματος της εκκένωσης της κολώνας.





Σχεδιασμός Συστήματος Κενού

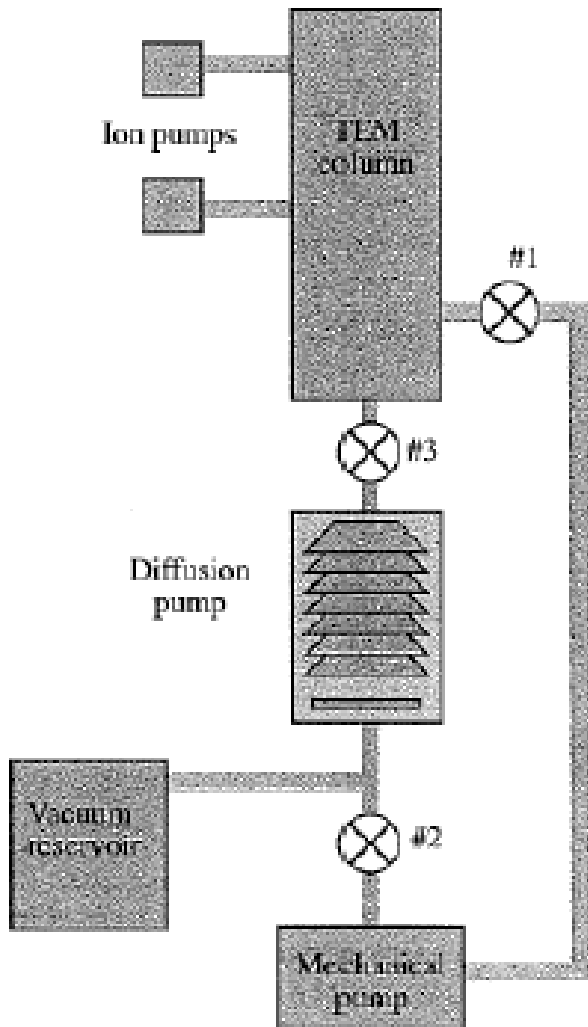


Different levels of vacuum are required for different parts of the microscope

- Electron gun ($\sim 10^{-9}$ Torr)
- Specimen area ($\sim 10^{-6}$ Torr)
- Chamber and Camera ($\sim 10^{-5}$ Torr)



Σύστημα Κενού



A typical operation of pumping system includes:

- Step 1: close #1 & #3, open #2
- Step 2: open #1, close #2 & #3
- Step 3: close #1, open #2 & #3



Θεωρία Κενού

Βασικές παραδοχές της κινητικής θεωρίας αερίων

- Το αέριο αποτελείται από ανεξάρτητα σωματίδια ή μόρια
- Τα μόρια δεν είναι απειροελάχιστα μικρά – συγκρούονται ελαστικά
- Η κίνηση των μορίων είναι τελείως τυχαία
- Οι τροχιές των μορίων ανάμεσα σε 2 συγκρούσεις είναι ευθείες γραμμές (Το μέσο μήκος των ευθύγραμμων τμημάτων είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή)

Βάση αυτών των παραδοχών μπορεί να αποδειχτεί ότι οι ταχύτητες των μορίων θα ακολουθούν μια κατανομή Maxwell που δίνεται από τον τύπο:

$$F_{(v)} = N_i \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \times \left(\frac{m}{kT}\right)^{3/2} \times v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

όπου N_i : ο συνολικός αριθμός των μορίων

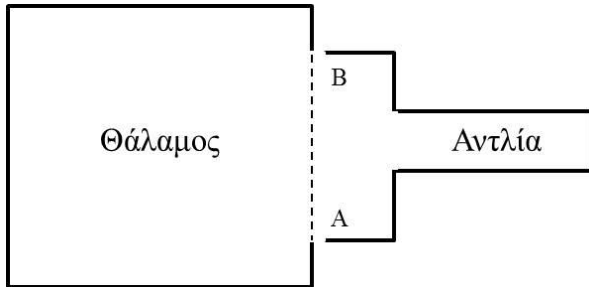
m : η μάζα κάθε μορίου

k : η σταθερά του Boltzmann = 1.38×10^{-23} joule / K

T : απόλυτη θερμοκρασία



Αρχή Λειτουργίας Αντλιών



αντλία συνδεδεμένη με ένα θάλαμο κενού μέσω της επιφάνειας AB

- Η γενική φυσική έννοια για μία αντλία υψηλού κενού είναι ότι περισσότερα μόρια διαπερνούν την επιφάνεια AB κινούμενα προς την αντλία, παρά από αυτήν προς τον θάλαμο.
- Έτσι ο ρυθμός άφιξης στην επιφάνεια από τον θάλαμο είναι $\frac{1}{4} NvA$ μόρια ανά δευτερόλεπτο, που είναι μία από τις σημαντικές παραμέτρους. Η άλλη (παραμέτρος) είναι η αποτελεσματικότητα με την οποία μπορεί να εξαλειφτεί η επιστροφή των μορίων στον υπό εκκένωση θάλαμο.

Η απόδοση ενός συγκεκριμένου συστήματος άντλησης εξαρτάται από

1. Το μέγεθος και τον τύπο της αντλίας
2. Την αγωγιμότητα των σωληνώσεων προς την αντλία



Αρχή Λειτουργίας Αντλιών

Η συνολική απόδοση ενός πλήρους συστήματος κενού εξαρτάται από:

1. Το σύστημα άντλησης
2. Τους ρυθμούς απελευθέρωσης αερίου των κατασκευαστικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, διαρροές κλπ κλπ δηλ. από την επιφόρτιση του συστήματος με αέριο από όλες τις πηγές.

τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος συχνά καθορίζονται σε σχέση με:

- Τον χρόνο που απαιτείται για να φθάσουμε σε συγκεκριμένη τιμή κενού από την ατμόσφαιρα
- Την τελική τιμή της πίεσης που μπορούμε να πετύχουμε

Τύπος Αντλίας	Αρχή Λειτουργίας
Περιστροφική Μηχανική	Ο έκκεντρος ρότορας συμπιέζει και εξαγάγει το αέριο. Στεγανό σύστημα λαδιού
Με υδροπίδακα	Η υψηλή πίεση υδροπίδακα από το στόμιο συμπαρασύρει μόρια αερίου στην περιοχή ανάμιξης
Προσρόφησης	Αέριο παγιδεύεται στην επιφάνεια απορροφητικού υλικού στους 77 K
Μηχανική αντλία με ενίσχυση ή μηχανικός ενισχυτής	Ρυθμός Πίεσης 3.5 (500 – 3.000 στροφές / λεπτό)
Αντλία διάχυσης ατμών	Πίεση βραστήρα 3 torr. Ρεύμα λαδιού ή υδραργύρου συμπαρασύρει μόρια του αέρα
Τουρμπομοριακή	Ακτίνες φτερωτές στον ρότορα και στον στάτορα, πολλά στάδια συμπίεσης στάδια 20 – 40 10 3 στροφές/λεπτό
Ιοντική	Ιονισμένα μόρια. Αντλούνται κολλώντας πάνω στην κάθοδο σε μια εκκένωση αίγλης 7kV, 2KGauss
Εξάχνωση τιτανίου	Εξαχνώνει φιλμ σε κρύα επιφάνεια ή σε θερμοκρασία δωματίου, με μεγάλη ταχύτητα (3-14lt/sec/cm ² H ₂ O 50 A)
Κρυοαντλία	Πολύ ψυχρή επιφάνεια (4° K, Υγρό ήλιο ή 77K υγρό άζωτο



Τεχνολογία Κενού

Η τεχνολογία κενού συνήθως ασχολείται με την **ταχύτητα άντλησης**, την **παροχή** και την **αγωγιμότητα**.

Ταχύτητα άντλησης S ο όγκος του αερίου (V_{gas}) που αντλείται από ένα σύστημα ανά μονάδα χρόνου όταν η πίεση στην αντλία είναι P, δηλαδή $S = \frac{V_{gas}}{P}$

Παροχή Q (torr lt / sec ή j / sec) είναι ο ρυθμός ροής μάζας αερίου από ένα οποιοδήποτε σημείο του συστήματος προς τα μέσα (δηλ. το εσωτερικό του προς εκκένωση χώρο), είναι σταθερή για όλα τα σημεία σε κατάσταση ισορροπίας



Τεχνολογία Κενού

Αγωγιμότητα C Θεωρούμε 2 πειραματικούς θαλάμους υπό πίεση P_1 και P_2 που συνδέονται μέσω ανοίγματος εμβαδού A

Η ροή είναι $Q = C (P_1 - P_2) [\text{Torr liter s}^{-1}]$ όπου η σταθερά C ονομάζεται **αγωγιμότητα** $[\text{liters s}^{-1}]$.

Η C εξαρτάται από:

- Τη φύση του αερίου
- Τους ρυθμούς άφιξης (των μορίων) στην είσοδο του αγωγού
- Τον τρόπο ροής του αερίου (δηλαδή των συγκρούσεων αερίου – αερίου ή αερίου – τοιχωμάτων)



Τεχνολογία Κενού

Αγωγιμότητα C

Η αγωγιμότητα C είναι συνάρτηση της γεωμετρίας

αγωγιμότητα οπής διαμέτρου D (cm),	$C = 2.86 \sqrt{\frac{T}{M}} D$
αγωγιμότητα σωλήνα διαμέτρου D, διατομής A και μήκους L (cm)	$C = 6.18 \frac{A^2}{DL} \sqrt{\frac{T}{M}}$
Αγωγιμότητες εν σειρά	$\frac{1}{C_{sys}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$
Αγωγιμότητες εν παραλλήλω	$C_{sys} = \sum_i C_i$



Τεχνολογία Κενού

Αγωγιμότητα C

Η ταχύτητα άντλησης μειώνεται από την αγωγιμότητα των οπών & των σωληνώσεων που υπάρχουν μεταξύ της αντλίας και του συστήματος κενού.

Η χρήση σωλίνων μεγάλης διαμέτρου δεν αποτελεί λύση του προβλήματος αφού αυξάνουν τον όγκο του συστήματος και την επιφάνεια από την οποία γίνεται εκρόφιση προσροφημένων αερίων.

⇒ χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό των συστημάτων κενού έτσι ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη αντλία και η κατάλληλη γεωμετρία.