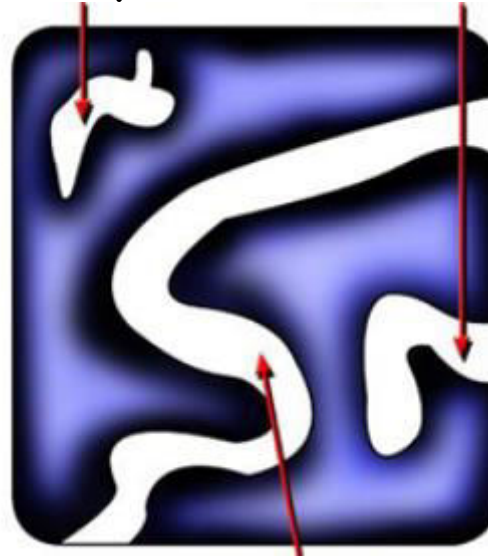


# Porozimetrija

# Struktura e poreve

Pore të mbyllura      Pore qorre

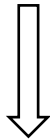


Pore të hapura

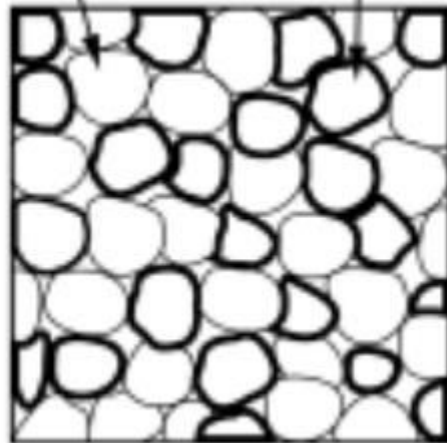
Tre lloje të ndyshme poresh

# Karakteristikat e strukturave johomogjene

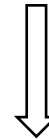
Secila shtresë

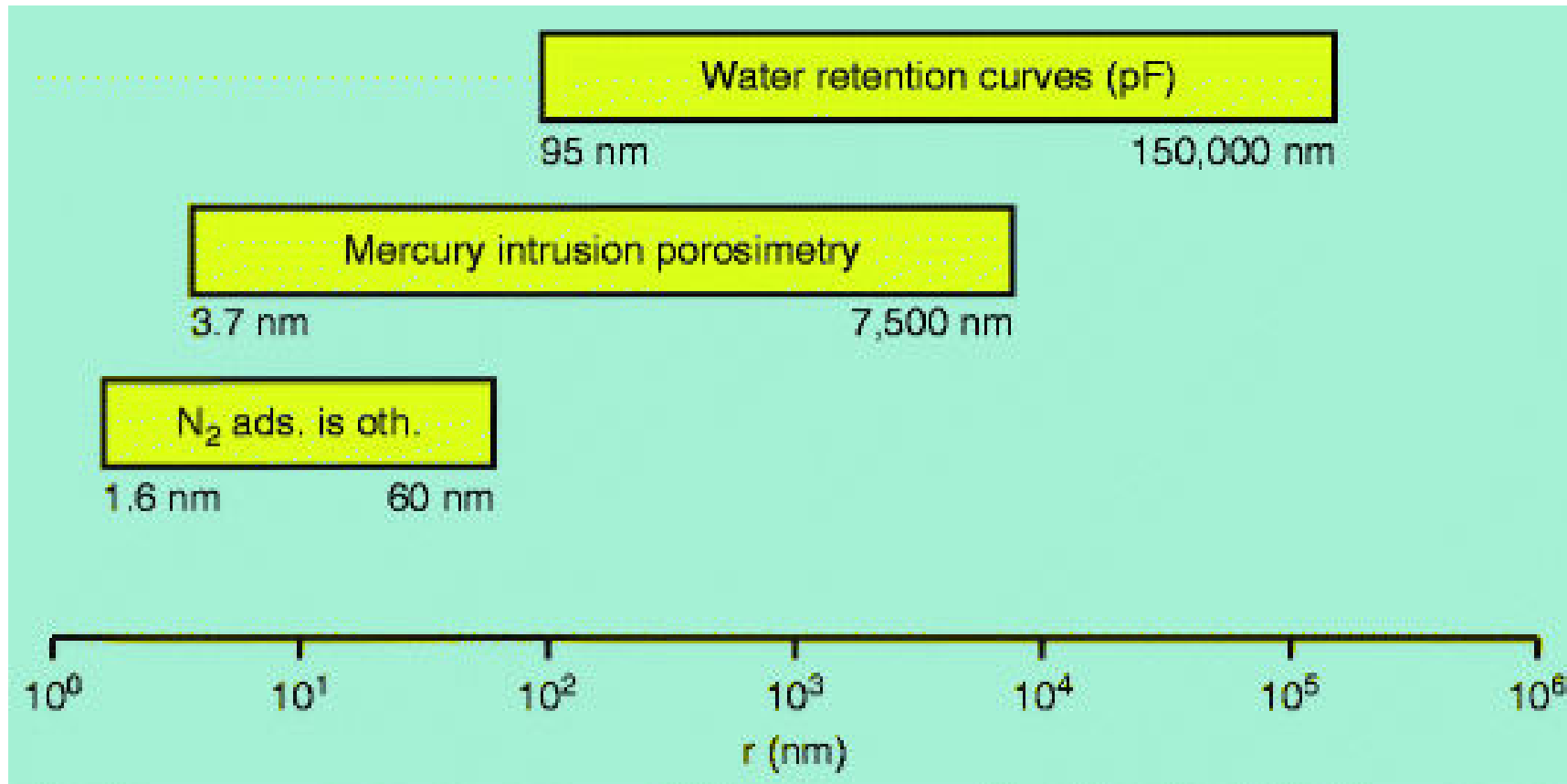


Secili përbërës  
hidrofobik/hidrofilik

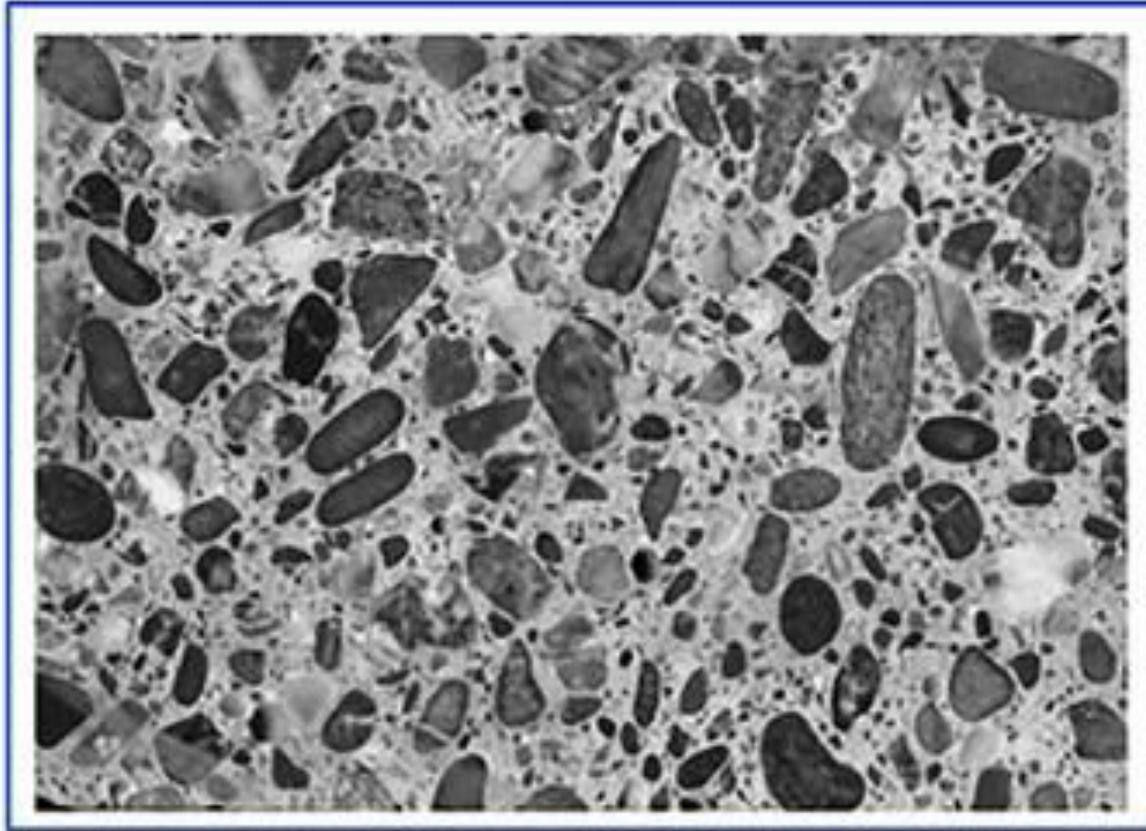


ndryshimi  
gradual i  
strukturës

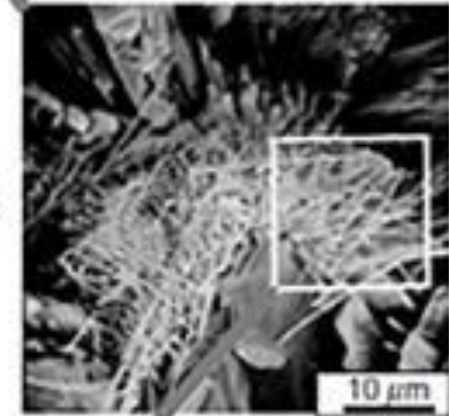




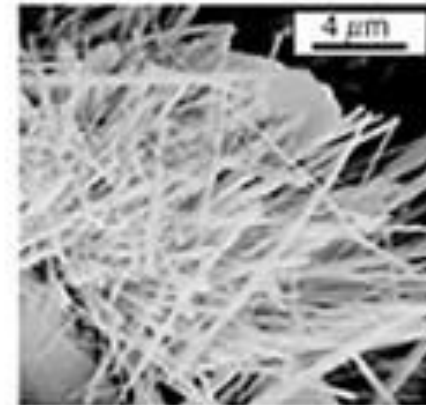
Karakterizimi i strukturës së poreve të  
materialeve poroze nëpërmjet teknikës së  
Porozimetrisë me Shtypje të Mërkurit



2000 ×



4 μm



5000 ×

Majtas: një pjesë e polishuar e betonit; djathtas: mikrostruktura e një paste çimentoje të hidratuar

# Shkatërrimi i betonit nga erozioni





# Parimi i teknikës së porozimetrisë me shtypje të mërkurit

Shtypja brenda poreve e një lëngu që nuk lag

Lëngu që nuk lag, nuk hyn vetvetiu brenda poreve  $\sigma_{SL} > \sigma_{SG}$

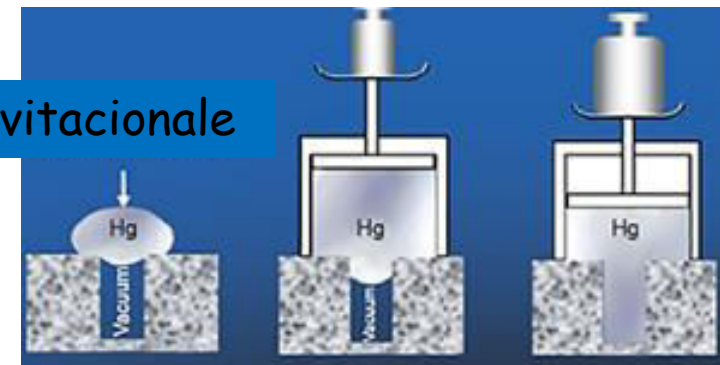
Këndi i kontaktit i ngurtë/lëng  
për lëngje që lagin dhe nuk lagin



Mërkuri në ekuilibër dhe duke hyrë  
brenda poreve nën ushtrimin e presionit

Forca mekanike

Forca gravitacionale



$$\sigma_{SL} > \sigma_{SG}$$



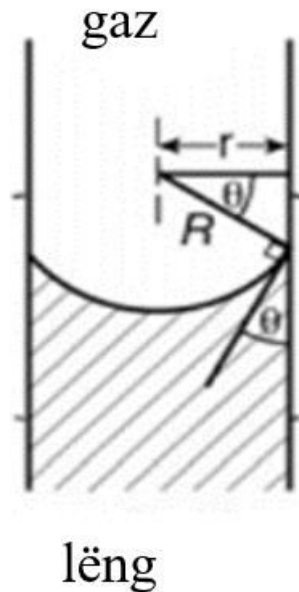
# Parimi i teknikës së porozimetrisë me shtypje të mërkurit

- Lëngu që nuk lag, kur vihet nën presion mund të hyjë brenda poreve
- Puna e kryer nga lëngu = rritjen e energjisë së lirë ndërfaqore
- $(P - P_G) dV = (\sigma_{SL} - \sigma_{SG}) dS$

$$P = (-\sigma_{LG} * \cos\theta) * (dS/dV), \text{ ku}$$

$dS/dV = H$  - kurbëzimi i sipërfaqes.

# Shtypja e Laplasit



Nga formula për llogaritjen e kurbëzimit H për meniskun sferik kemi:

$$p = \frac{2 * \sigma_{La}}{R} = \frac{2 * \sigma_{La} * \cos\theta}{r} = \frac{4 * \sigma_{La} * \cos\theta}{D} \text{ sepse } R = \frac{r}{\cos\theta} \text{ ku;}$$

Njihet si ekuacioni i Washburn-it

$R$  – rrezja e kurbëzimit

$r$  – rrezja e kapilarit

$D = 2 * r$  – diametri i kapilarit

# Madhësitë e matura dhe të llogaritura

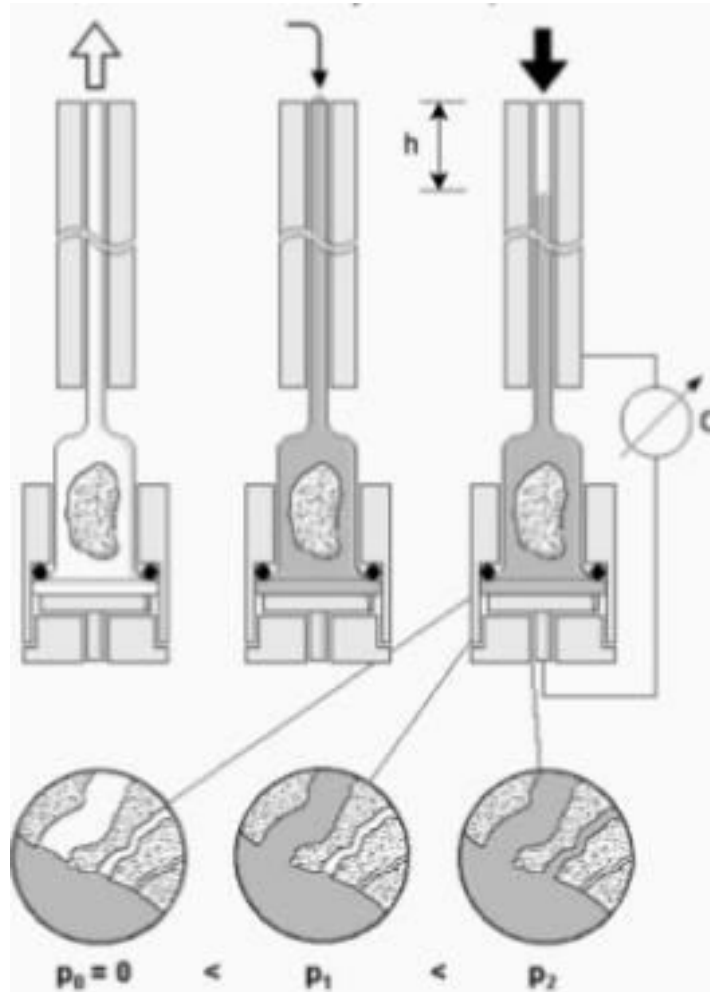
- Nga presioni i matur i shtypjes së mërkurit llogaritet diametri i poreve më të vogla ku ka hyrë Hg.
- Nga vëllimi i mërkurit të futur Brenda poreve, llogaritim vëllimin e poreve.

# Porozimetria me mërkur

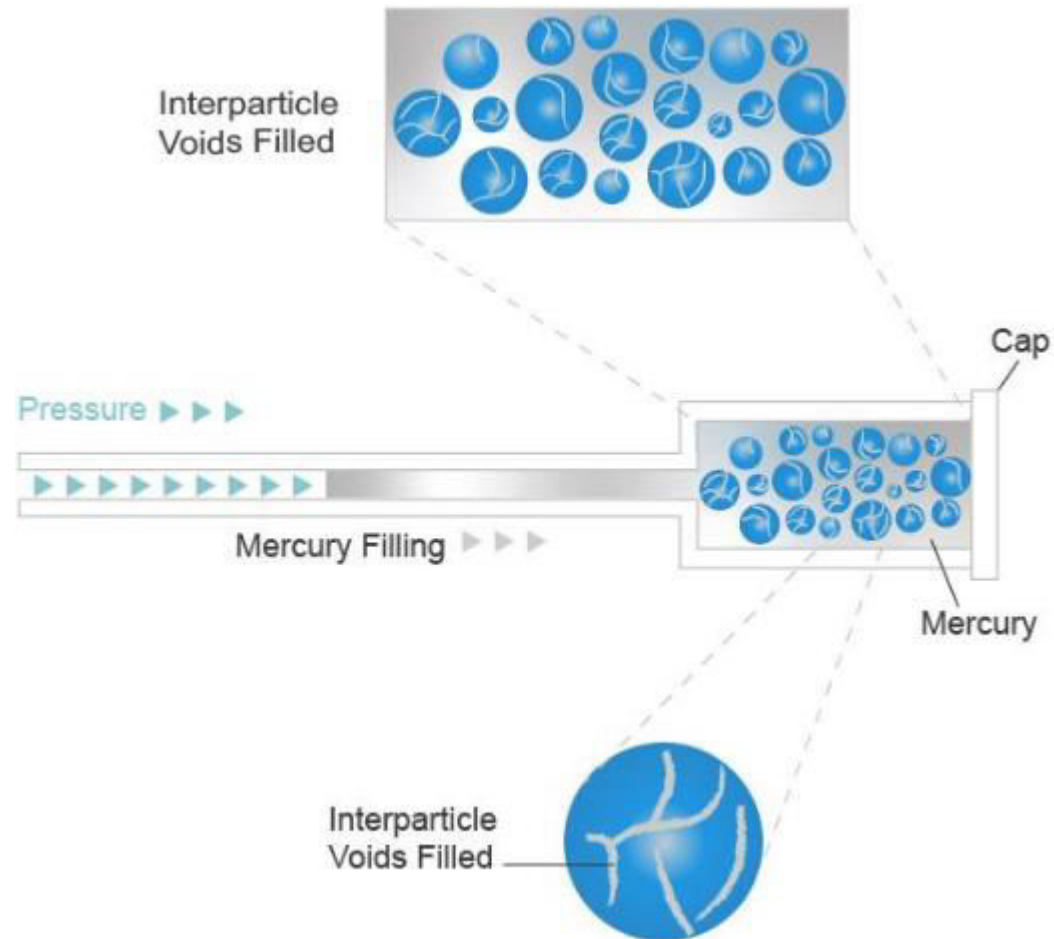
Degazojmë

Mbushim  
me Hg

Rrisim  
presionin

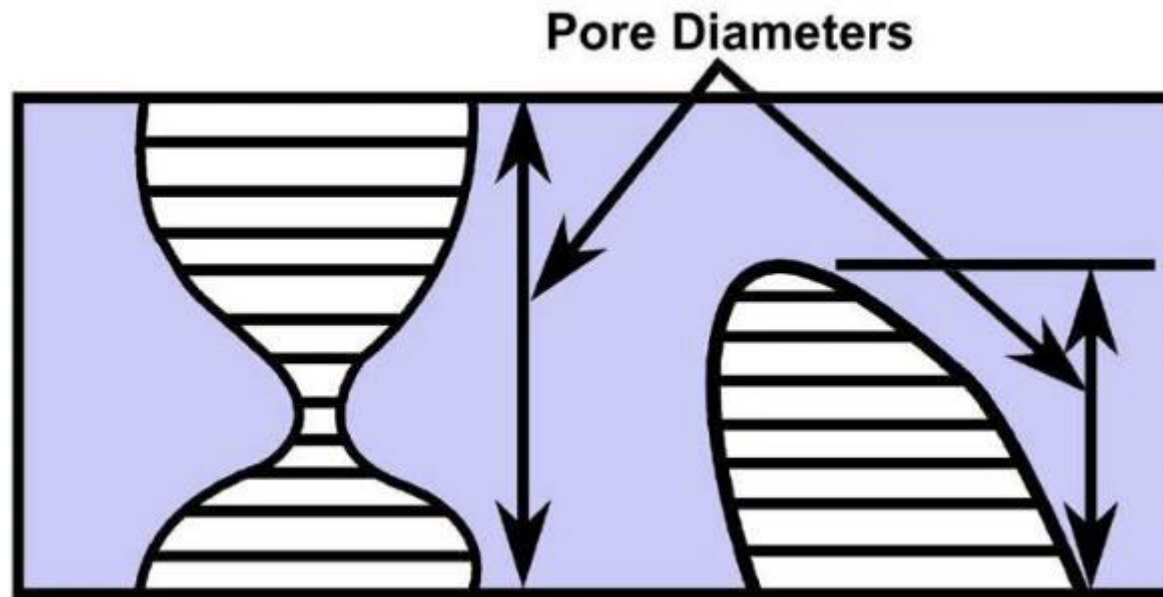


# Rradha e mbushjes së hapësirave ndërgrimcore dhe poreve



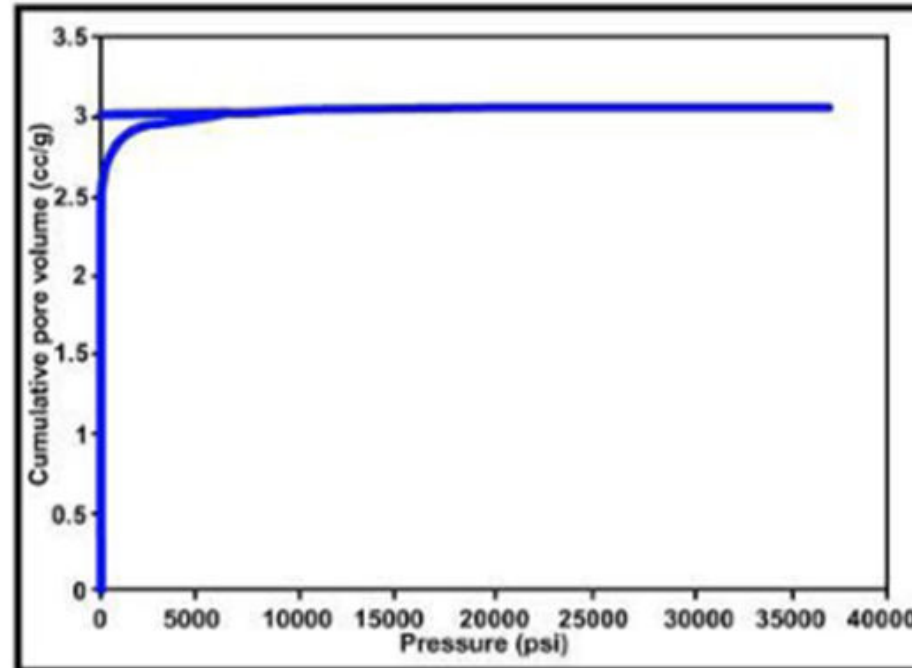
# Pore me diametra të matshëm në Porozimetrinë me Hg

- Diametra të matshëm të poreve të hapura në të dy anët dhe të poreve qorre



# Karakteristika të matshme me P.Sh.M.

- Vëllimi i poreve të hapura në të dy anët dhe të poreve qorre.

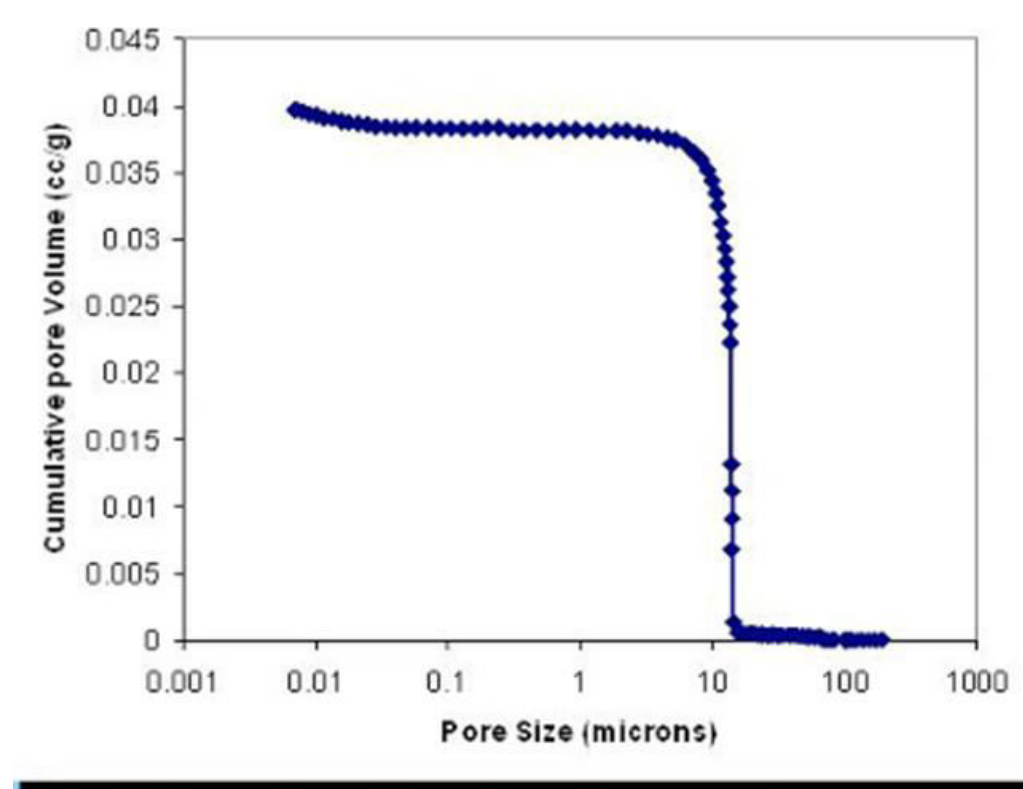


Vëllimi i mërkurit të shtypur (fatur) brenda poreve



# Karakteristika të matshme me PShM

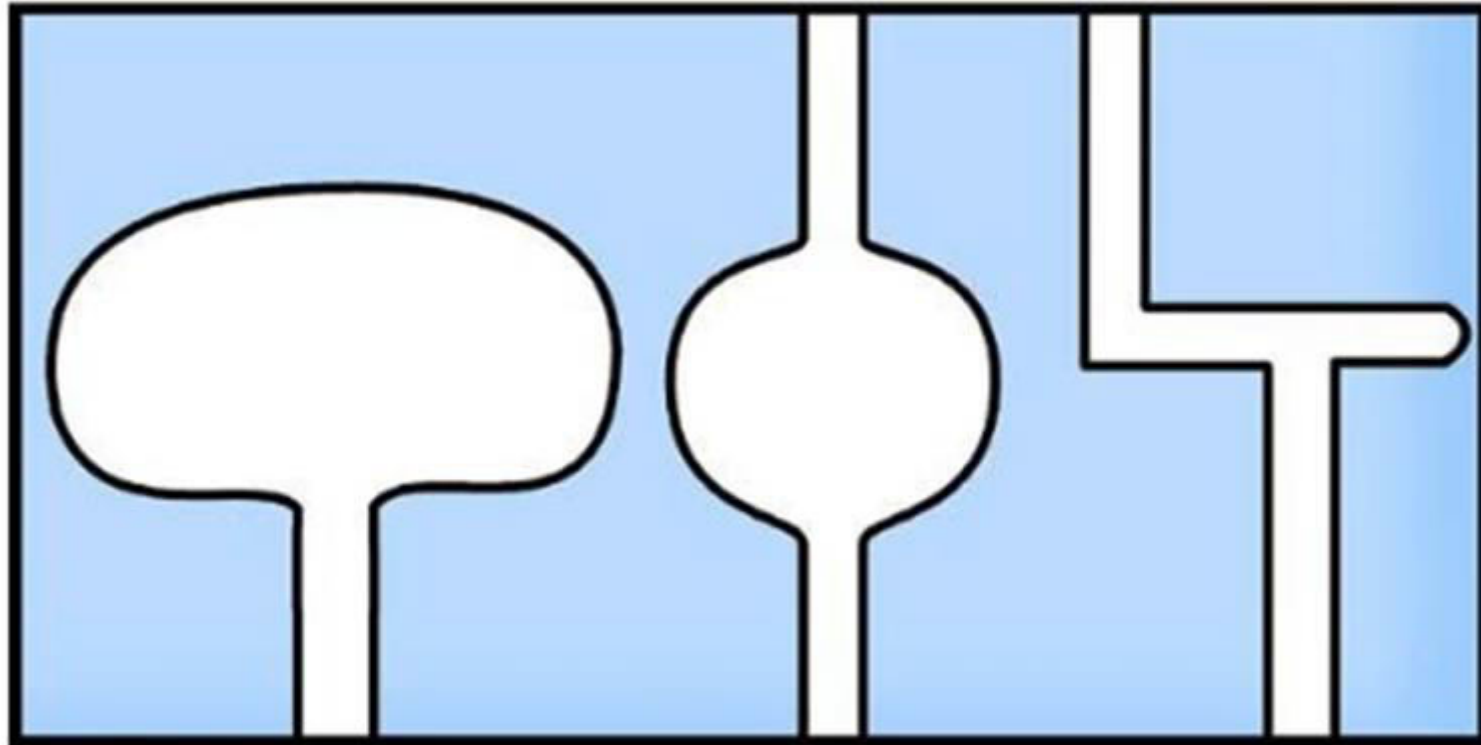
- Vëllimi i poreve të hapura në të dy anët dhe të poreve qorre.



Vëllimi kumulativ i poreve me diametrim e poreve

# Karakteristika të matshme me PShM

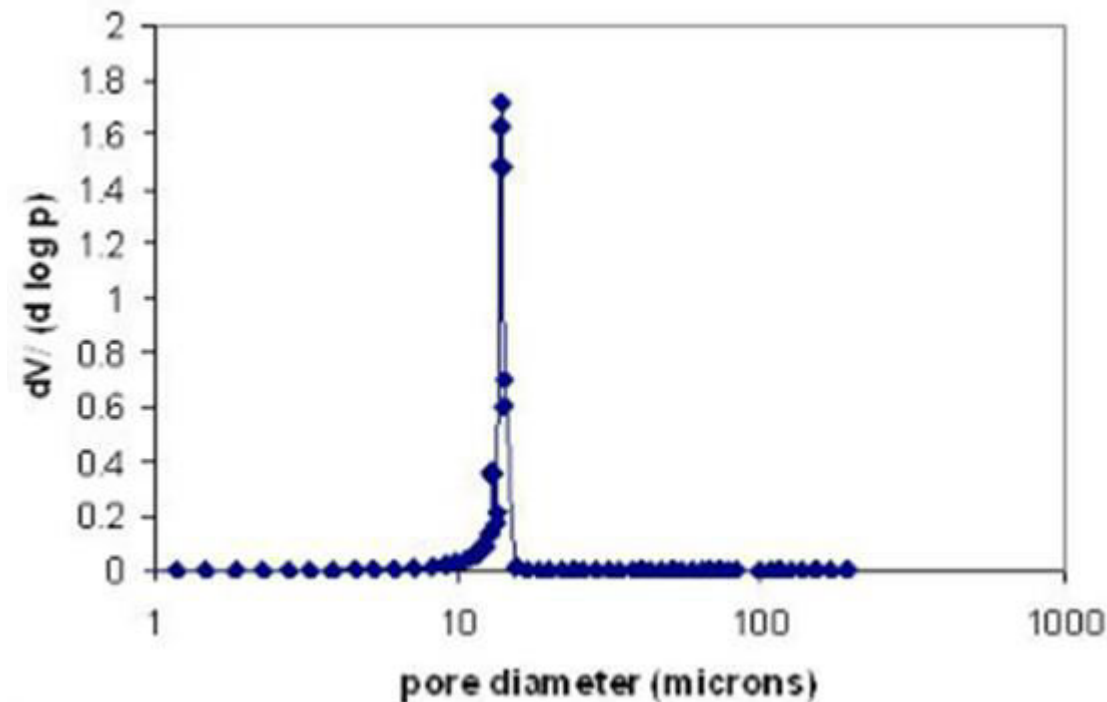
Diametra të poreve të hapura në të dy anët dhe të poreve qorre



Shembuj të poreve me trajta ku disa nga diametrat nuk janë të matshëm ne P.Sh.M.

# Karakteristika të matshme me PShM

- Shpërndarja diferenciale e vëllimit të poreve sipas madhësisë (rrezes)
- $fV = - (dV / d \log D)$

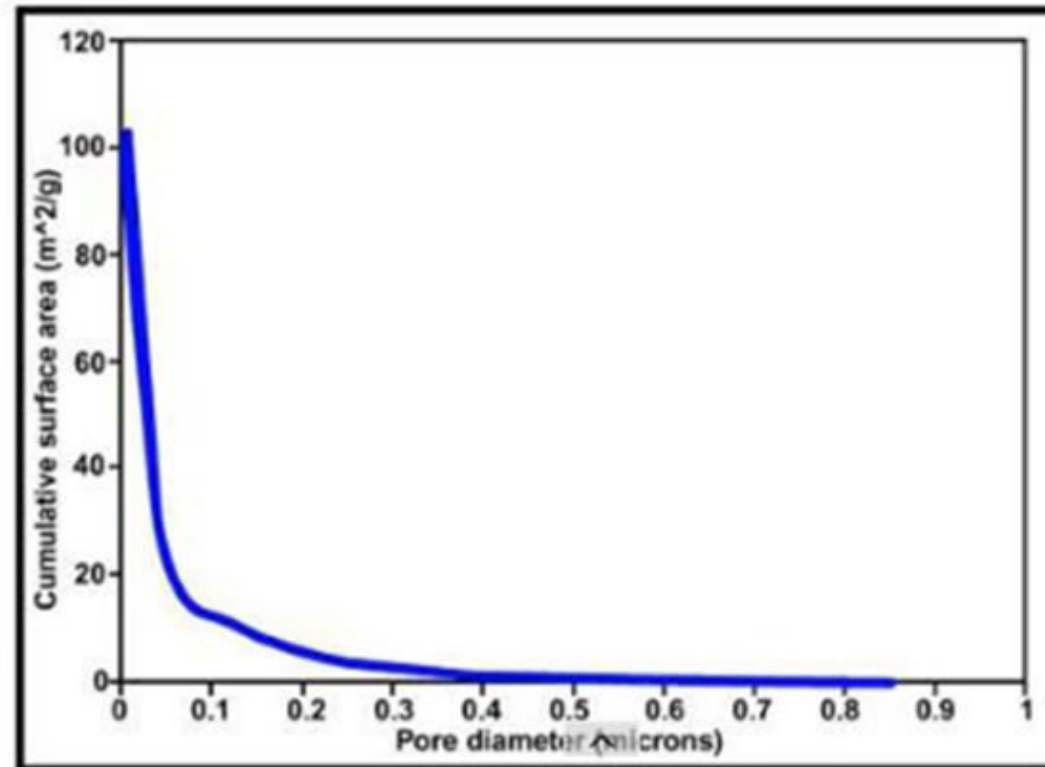


Sipërfaqja nën kurbë në një interval rrezesh = Vëllimin e poreve në këtë interval

# Karakteristika të matshme me PShM

- Sipërfaqja e poreve të hapura në të dy anët dhe poreve qorre është:

$$S = (1/(\sigma_{LG} \cos\theta)) * \int p dV$$

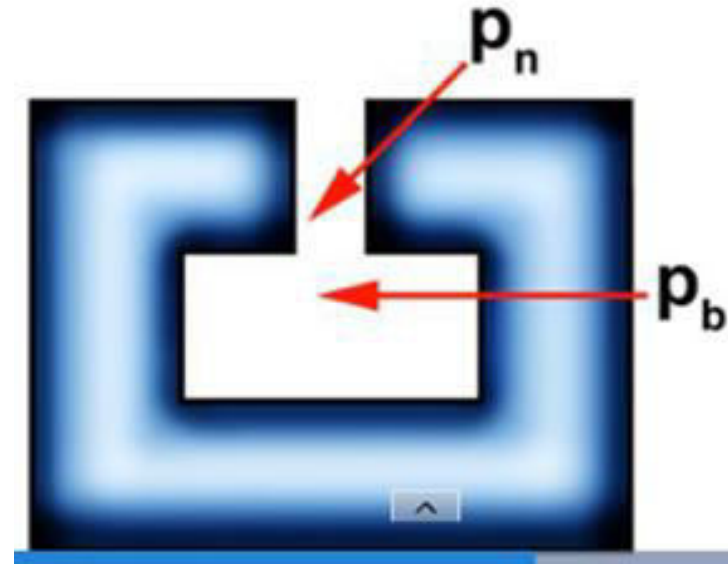


Sipërfaqja kumulative

# Karakteristika të matshme me PShM

Sipërfaqja nuk është shumë e saktë

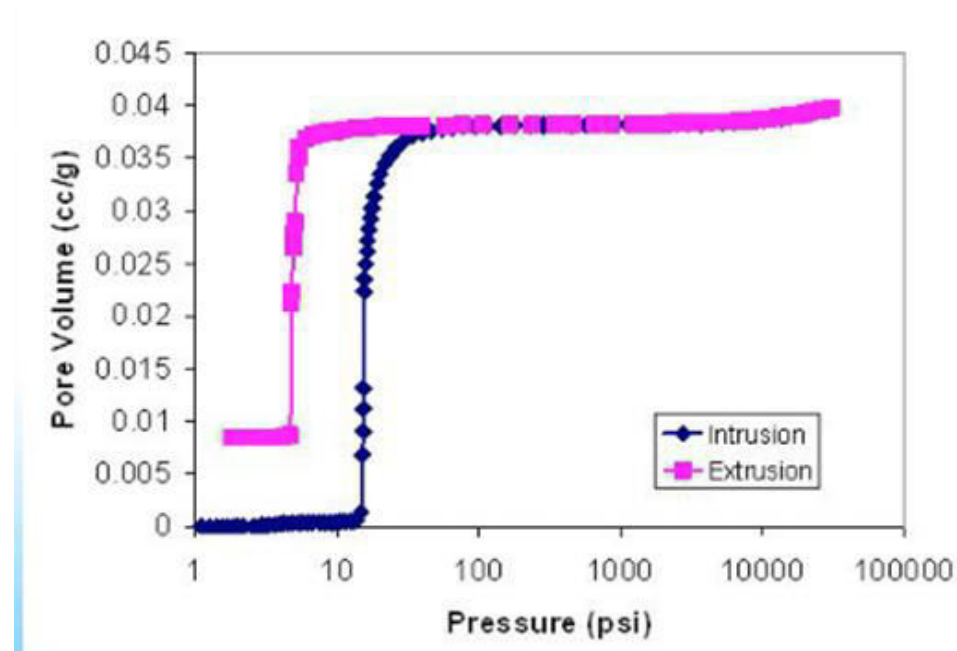
- Poret në formë “grykë shisheje” maten si pore me diametër sa ai i grykës.



Pore në formë “grykë shisheje”

# Karakteristika të matshme me PShM

- Vëllimi i zgjerimit dhe histereza



Histereza në ciklin ngjeshje - zgjerim

# Përmbledhje mbi porozimerinë me mërkur.

Mund të testohet thuajse cdo lloj materiali sepse mërkuri nuk lag materialet.

Nuk janë të matshme karakteristikat e rrjedhjes.

Përdor materiale toksike dhe presione të larta



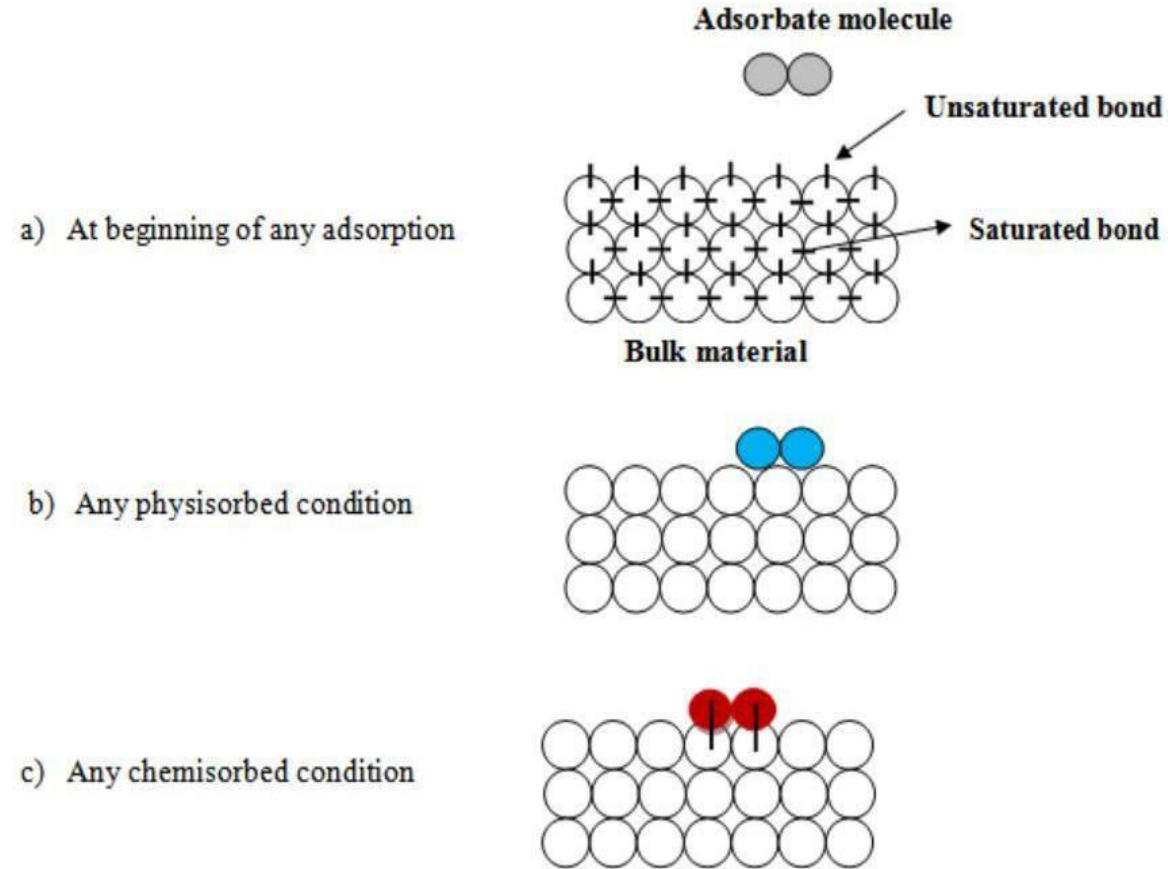
## Puna e laboratorit nr. 5.1

**Tema: MATJA E ADSORBIMIT TË GAZEVE MBI TRUPAT E NGURTË ME TEKNIKËN VËLLIMETRIKE**

**QËLLIMI I PUNËS: MATJA E ADSORBIMIT TË AZOTIT TË GAZTË NË  $T=77$  K MBI QYMYRIN AKTIV ME TEKNIKËN VËLLIMETRIKE DHE PËRCAKTIMI I SIPËRFAQES SPECIFIKE TË TIJ DUKE PËRDORUR EKVACIONET E LANGMUIR DHE BET.**

# Paraqitja skematike e adsorbimit

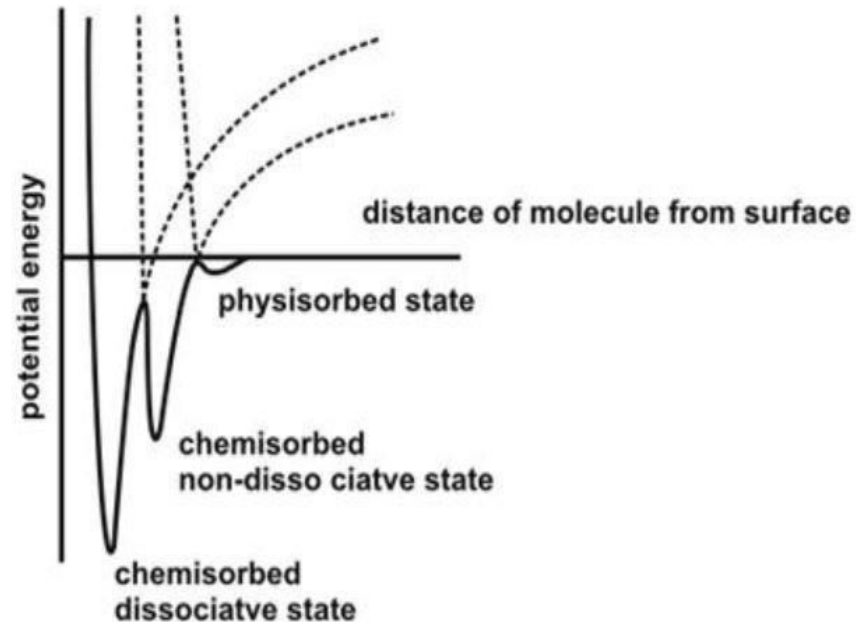
Karakteristikë e materialeve të ngurta është shpërndarja e qendrave aktive me energji të ulët. Molekulat e gazeve dhe avujve mund të lidhen apo adsorbohen në këto qendra.



Sasia e molekulave të adsorbuar nga sipërfaqja e ngurtë varet nga T, P, shpërndarja e qendrave aktive në sipërfaqe dhe sipërfaqja specifike

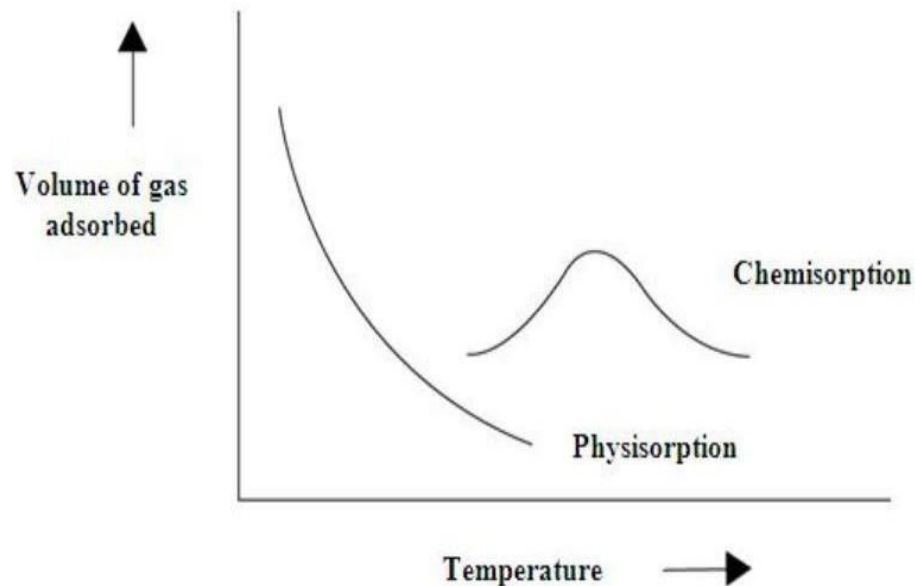
# Natyra e sorbimit të gazit mbi një sipërfaqe

- Kur b.v. midis një sipërfaqeje dhe një adsorbate është relativisht i dobët, ndodh vetë adsorbimi fizik.
- Sidoqoftë, atomet në sipërfaqe zotërojnë shpesh elektrone ose çifte elektronikë që janë të disponueshëm për të krijuar lidhje kimike.
- Adsorbimi i pakthyeshëm, ose kimisorbimi, karakterizohet nga potenciale të mëdha bashkëveprimi që çojnë në nxehtësi të mëdha adsorbimi. Sic është e vërtetë edhe për reaksionet kimike, kimisorbimi është i lidhur me një energji aktivizimi, që nënkupton molekulat e adsorbatit të tërhequr mbi një sipërfaqe, duhet të kalojnë një barrierë energjetike, para se të lidhen fort me sipërfaqen.



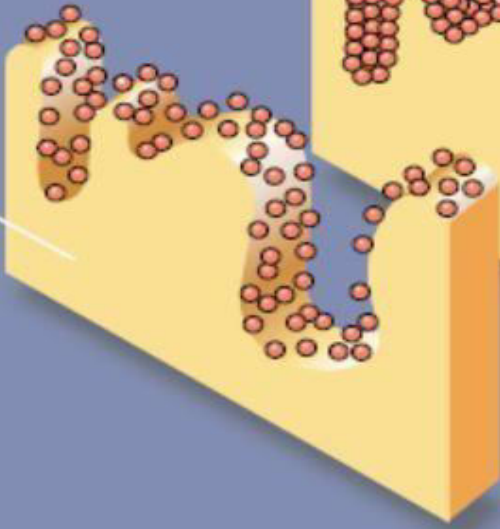
## Adsorbim/Desorbim

- Adsorbimi është “ngjitja” e molekulave të gazit mbi sipërfaqen e një trupi të ngurtë... çdo sipërfaqe të disponueshme, përfshirë edhe sipërfaqet brenda poreve të hapura.
- Rritja e presionit të gazit mbi trupin e ngurtë shkakton adsorbim në rritje.
- Është i varur nga temperatura.
- Desorbimi është largimi i molekulave të gazit nga sipërfaqja e ngurtë... çdo sipërfaqe të disponueshme, përfshirë edhe sipërfaqet brenda poreve të hapura.
- Ulja e presionit të gazit mbi sipërfaqen e ngurtë sjell desorbim në rritje.
- Kryhet në të njëjtën temperature me adsorbimin.



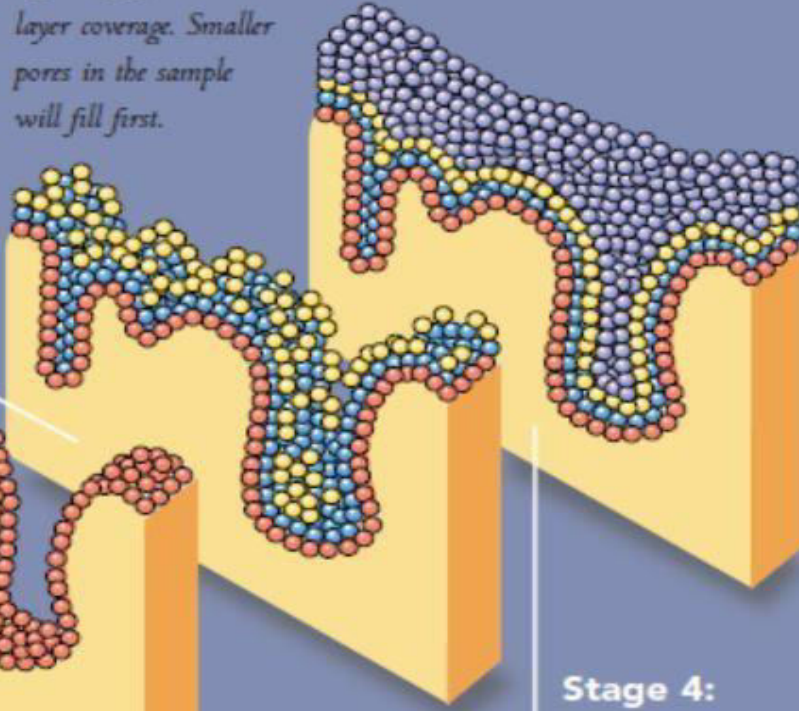
### Stage 1:

*Isolated sites on the sample surface begin to adsorb gas molecules at low pressure.*



### Stage 3:

*Further increasing gas pressure will cause the beginning of multi-layer coverage. Smaller pores in the sample will fill first.*

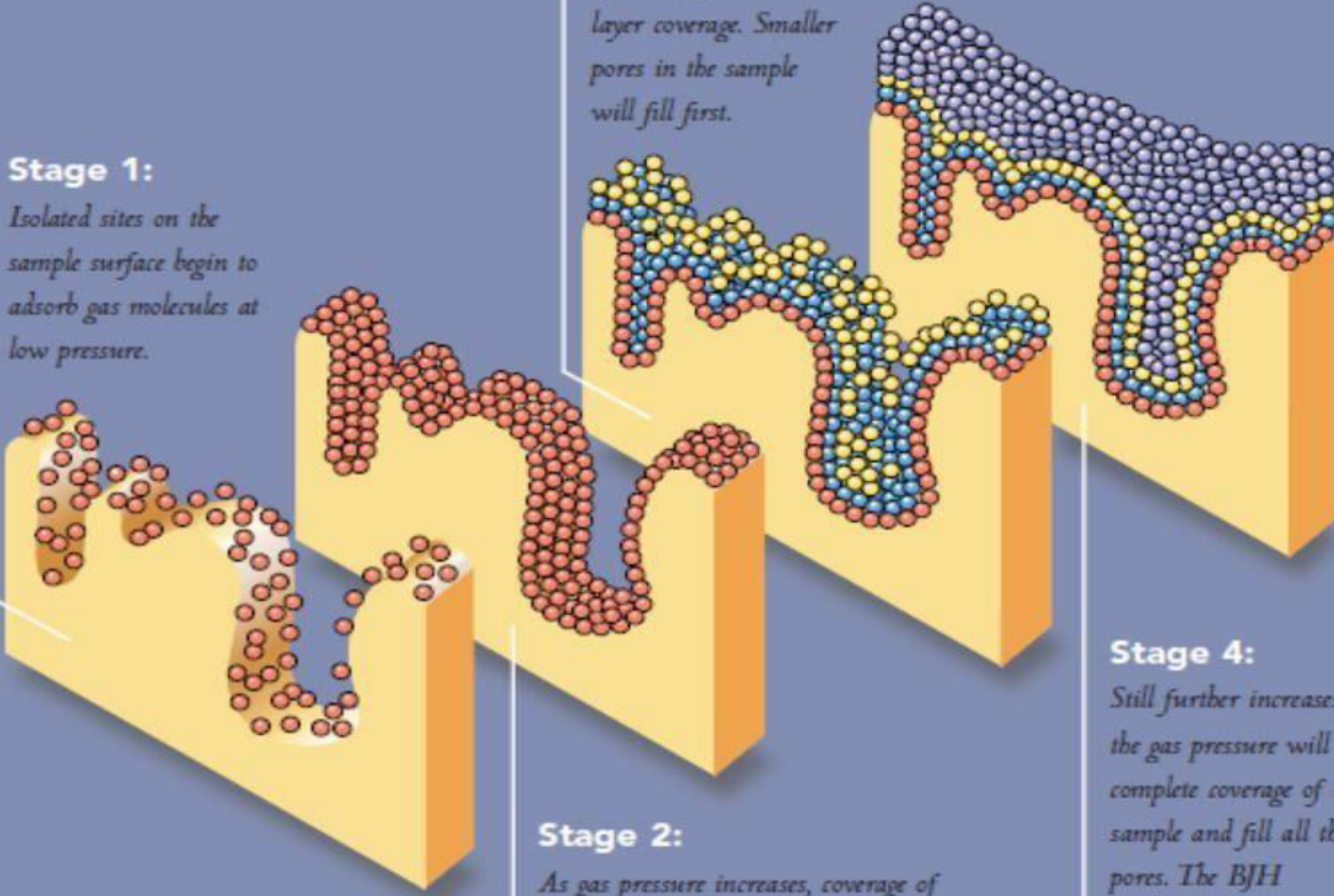


### Stage 2:

*As gas pressure increases, coverage of gas molecules increases to form a monolayer (one molecule thick). BET equation is used to calculate the surface area.*

### Stage 4:

*Still further increases in the gas pressure will cause complete coverage of the sample and fill all the pores. The BJH calculation can be used to determine pore diameter, volume and distribution.*



# Adsorbimi i gazit inert

- Cilat madhësi matim me teknikën e adsorbimit të gazit inert?
  - Sipërfaqe specifike
  - Shpërndarja e vëllimit të poreve sipas madhësisë
  - Nxehtësi të adsorbimit
- Cilit i interesojnë këto rezultate? Personelit laboratorik/kërkimor të cilit i intereson ndikimi i strukture së poreve në performancën e materialeve.
  - **Sipërfaqja specifike**
    - Ndikon shpejtësinë e tretjes së tr. ngurtë.
    - Ndikon densitetin e rrymës elektronike/jonike në sip. ndërmjet elektrodave dhe tretësirës jonike.
    - Ndikon kapacitetin adsorptive të adsorbentëve.
    - Tregon energjinë sipërfaqsoore të disponueshme në rastin e tabletimit apo sinterizimit.
  - **Shpërndarja e vëllimit të poreve sipas madhësisë**
    - Ndikon shpejtësinë e tretjes.
    - Ndikon vetitë e materialit për përdorim si “sitë molekulare”.
    - Ndikon sip. Specifike për njësi të vëllimit.

## Hipoteza të Lengmyrit (Langmuir-it)

- Molekulat e gazit sillen si ato të një gazi ideal
- Formohet vetëm një monoshtresë
- Sipërfaqja e adsorbentit është ekuipotenciale (të gjitha qendrat aktive në sipërfaqe janë të njëjta)
- Nuk ka bv. adsorbat-adsorbat
- Molekula e adsorbatit është e palëvizshme



# Izoterma e Langmuir

Përshkrimi i izotermës së tipit I

Hipotezime

- Adsorbimi monoshtresor
- Sipërfaqe energjetikisht uniforme
- Mungojnë b.v. ndërmjet molekulave të adsorbuara (nxehësia e adsorbimit e pavarur nga shkalla e mbulimit)

Shprehja kinetike e ekuilibrit adsorptive

$$V_{ads} = V_{des}$$

$$dN_{ads} = dN_{des}$$

[CONTRIBUTION FROM THE RESEARCH LABORATORY OF THE GENERAL ELECTRIC CO.]

## THE ADSORPTION OF GASES ON PLANE SURFACES OF GLASS, MICA AND PLATINUM.

BY IRVING LANGMUIR.

Received June 25, 1918.

In his studies of the continuous change from the liquid to the vapor state, at temperatures above the critical, van der Waals developed the theory that at the boundary between a liquid and its vapor there is not an abrupt change from one state to the other, but rather that a transition layer exists in which the density and other properties vary gradually from those of the liquid to those of the vapor.

This idea of the continuous transition between phases of matter has been applied very generally in the development of theories of surface phenomena, such as surface tension, adsorption, etc.

Eucken,<sup>1</sup> for example, in dealing with the theory of adsorption of gases, considers that the transition layer is a sort of miniature atmosphere, the molecules being attracted to the surface by some kind of "action at a

<sup>1</sup> Eucken, *Verh. deut. physik. Ges.*, 16, 345 (1914).

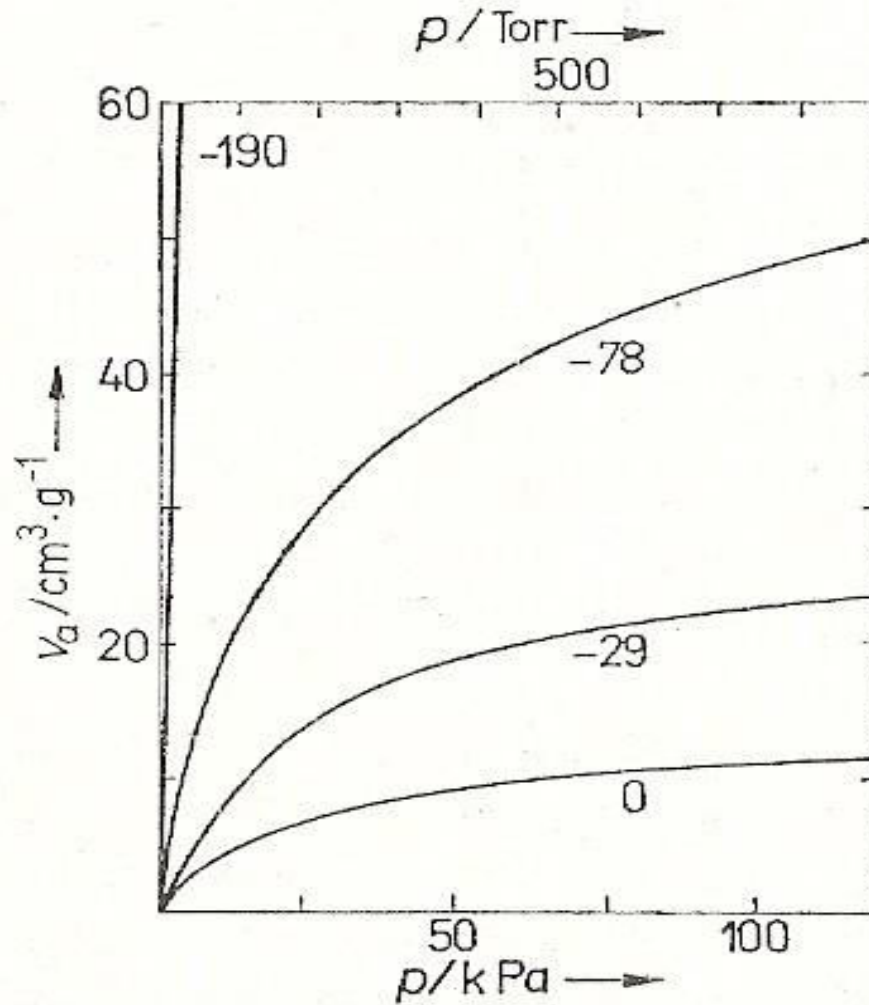
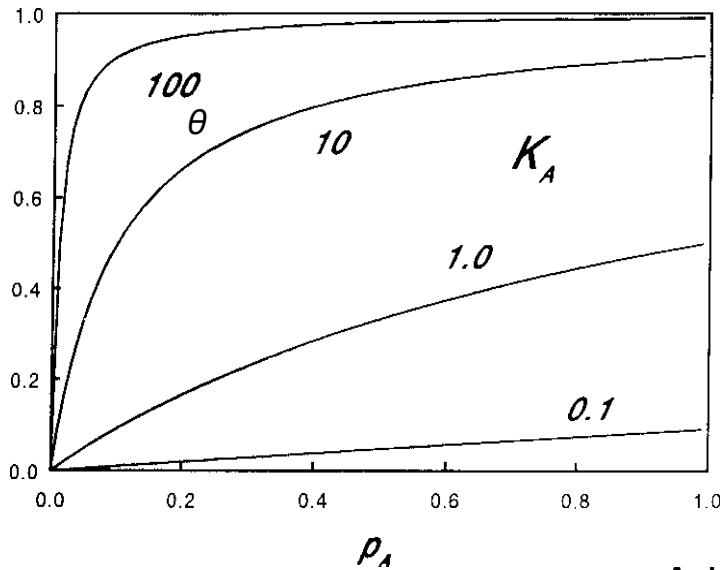
\*I. Langmuir, *J. Am. Chem. Soc.* 40 (1918) 1361.

# Izoterma e Langmuir

$$A = \frac{A_{\infty} * K * p}{1 + K * p}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = k_{ads} p N (1 - \theta) = \frac{d\theta}{dt} = k_{des} N$$

$$\theta = \frac{A}{A_{\infty}} = \frac{K p}{1 + K p} \quad K = \frac{k_{ads}}{k_{des}}$$



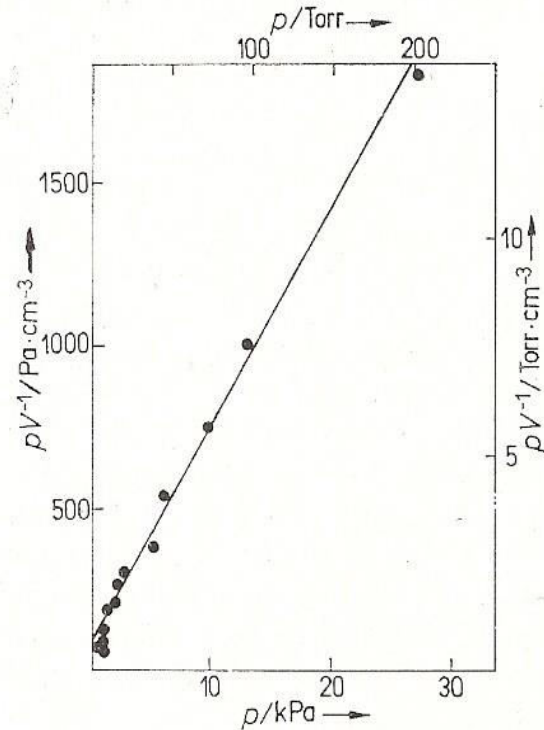
Adsorbimi i azotit mbi qymyrin aktiv në temperatura të ndryshme

# Langmuir isotherm

$$A = \frac{A_{\infty} * K * p}{1 + K * p}$$

EKUACIONI I LINEARIZUAR

$$\frac{p}{A} = \frac{1}{KA_{\infty}} + \frac{p}{A_{\infty}}$$



$$S = A_{\infty} * N_{Av} * \omega / M_{adsorbent}$$

Abb. 6.47  
 Linearisierte Langmuirsche Adsorptions-  
 isotherme für die Adsorption von  
 Wasserstoff an Kupferpulver bei 25°C

# Teoria BET Hyrje

- Adsorbim i gazeve ose i azotit
- Stephen **Brunauer**, Paul Hugh **Emmett**, dhe Edward **Teller**
- Mat drejtpërdrejt sipërfaqen specifike dhe shpërndarjen e vëllimit të poreve sipas madhësisë
- Teoria BET zhvendoset nga analizat **ideale** te ato **aktuale**

[CONTRIBUTION FROM THE BUREAU OF CHEMISTRY AND SOILS AND GEORGE WASHINGTON UNIVERSITY]

## Adsorption of Gases in Multimolecular Layers

BY STEPHEN BRUNAUER, P. H. EMMETT AND EDWARD TELLER

### Introduction

The adsorption isotherms of gases at temperatures not far removed from their condensation points show two regions for most adsorbents: at low pressures the isotherms are concave, at higher pressures convex toward the pressure axis. The higher pressure convex portion has been variously interpreted. By some it has been attributed to condensation in the capillaries of the adsorbent on the assumption that in capillaries of molecular dimensions condensation can occur at pressures far below the vapor pressure of the liquid. By others such isotherms are believed to indicate the formation of multimolecular adsorbed layers. DeBoer and Zwicker<sup>1</sup> explained the adsorption of non-polar molecules on ionic adsorbents by assuming that the uppermost layer of the adsorbent induces dipoles in the first layer

### I. The Polarization Theory of DeBoer and Zwicker

According to DeBoer and Zwicker, the induced dipole in the  $i$ th layer polarizes the  $i + 1$ st layer, thus giving rise to induced dipole moments and binding energies that decrease exponentially with the number of layers. If we call the dipole moment of a molecule in the  $i$ -th layer  $\mu_i$ , it follows that

$$\mu_i = c_1 C^i \quad (1)$$

where  $c_1$  and  $C$  are appropriate constants,  $C$  actually being equal<sup>3</sup> to  $\mu_i/\mu_{i-1}$ . The corresponding binding energy is proportional to the square of the dipole moment

$$\phi_i = c_2 C^{2i} \quad (2)$$

where  $c_2$  is another constant. The equilibrium pressure of the  $n$ th layer (top layer),  $p_n$ , according to Boltzmann's law varies exponentially with the

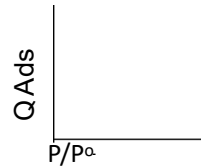
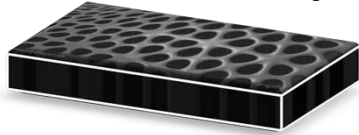
\* S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller, J. Am. Chem. Soc. 60 (1938) 309.

# Bazat

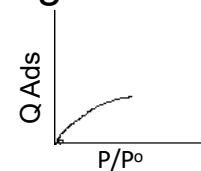
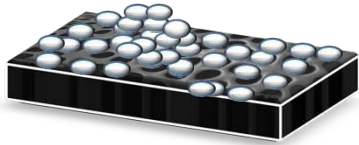
**Ideale**

$$PV = nRT$$

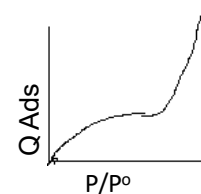
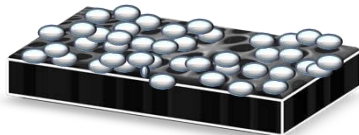
Asnjë molekulë e gaztë



Molekula azoti të gaztë



Molekulat e azotit në gjendje të ngopur të sipërfaqes



**Aktuale**

➤ Nuk nisemi nga situata e mungesës së cdo molekulë gazi

➤ Shtresa Monomolekulare: molekulat e gazit “ngjiten” bashkë

➤ Shumështresat molekulare: molekulat e gazit “ngjiten” bashkë

➤ Disa pore nuk mbushen

# BET është një zgjerim i modelit të Langmuir



- Sjellja kinetike e procesit të ndajthithjes
- Në ekuilibër shpejtësia e adsorbimit është e njëjtë me atë të desorbimit
- Nxehtësia e adsorbimit konsiderohet konstante dhe e pandryshueshme me shkallën e mbulimit,  $\theta$

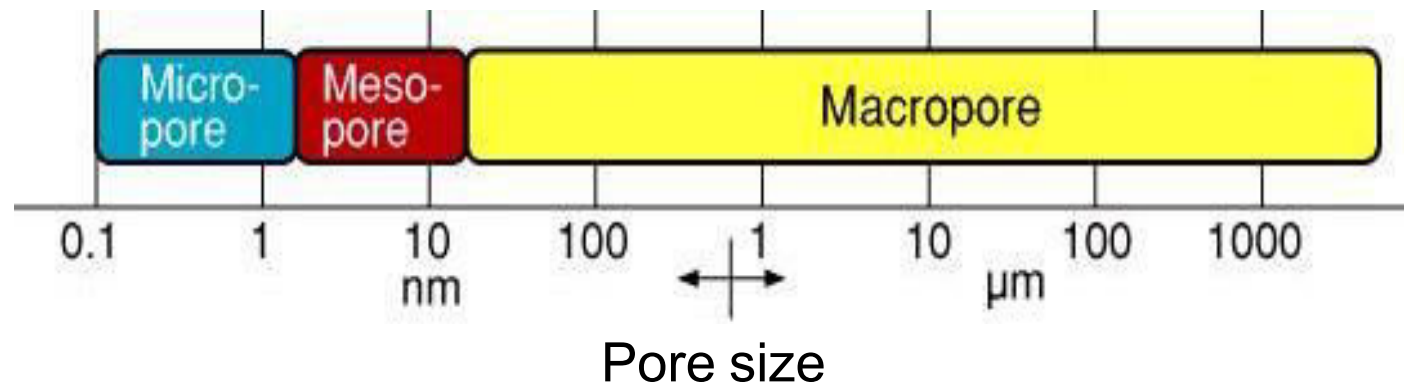


# Basic Principle Cont.

## Teoria BET

- Sipërfaqe homogjene
- Nuk ka b.v. anësore ndërmjet molekulave të adsorbatit
- Shtresa më e sipërme ndodhet në ekuilibër me fazën e gaztë
- Shtresa e parë dhe më të larta: adsorbim me clirim të nxehtësisë
- Të gjitha qendrat aktive kanë të njëjtën energji të adsorbimit për adsorbatin.
- Adsorbimi mbi adsorbent ndodh me infinit shtresa
- Teoria mund të zbatohet për secilën shtresë

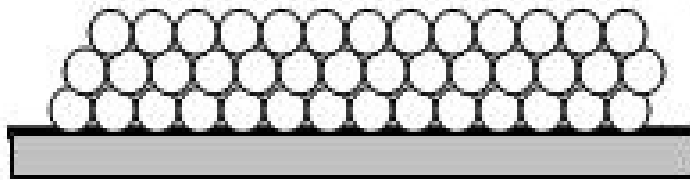
# Klasifikimi i poreve



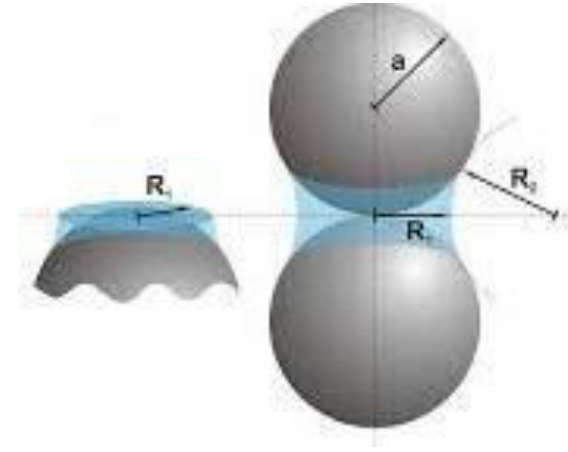
# Mekanizmi i Adsorbimit



Një shtresor

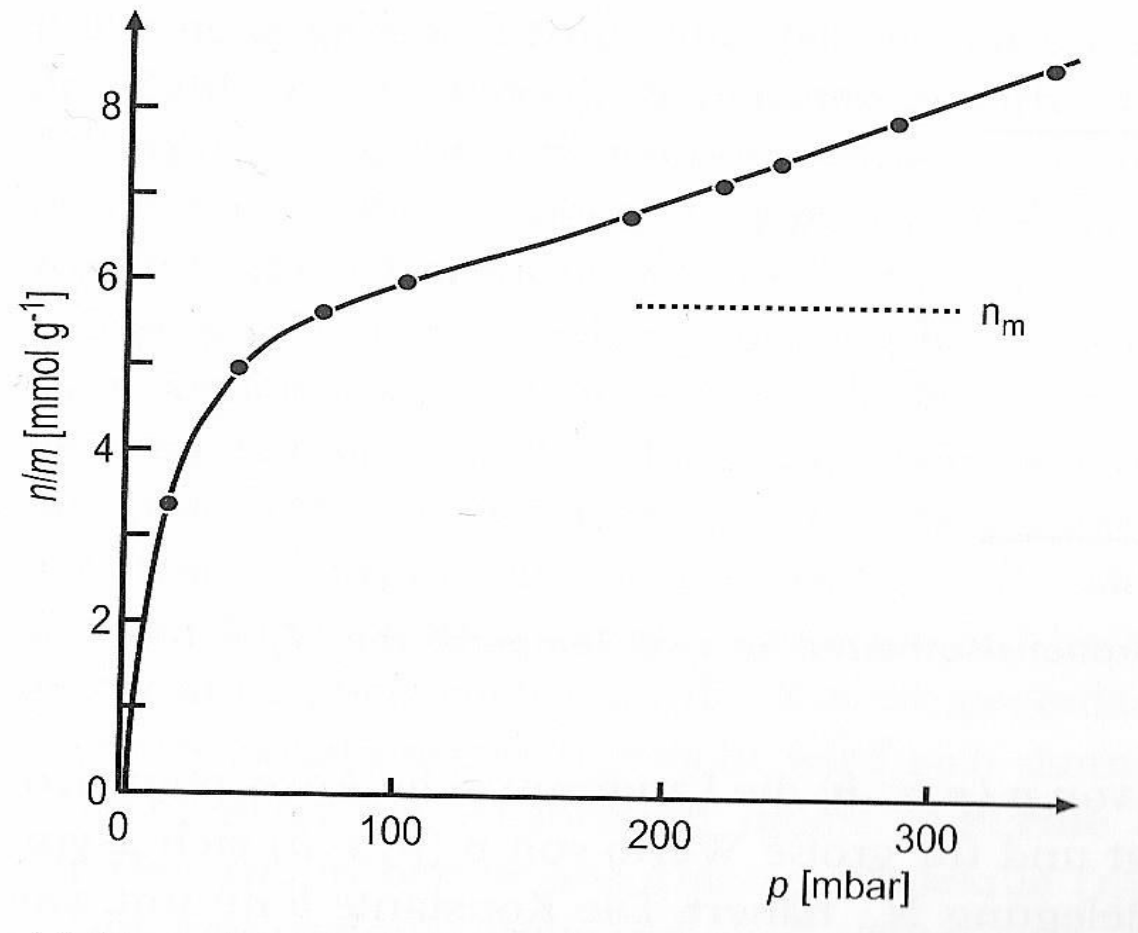


Shumë shtresor

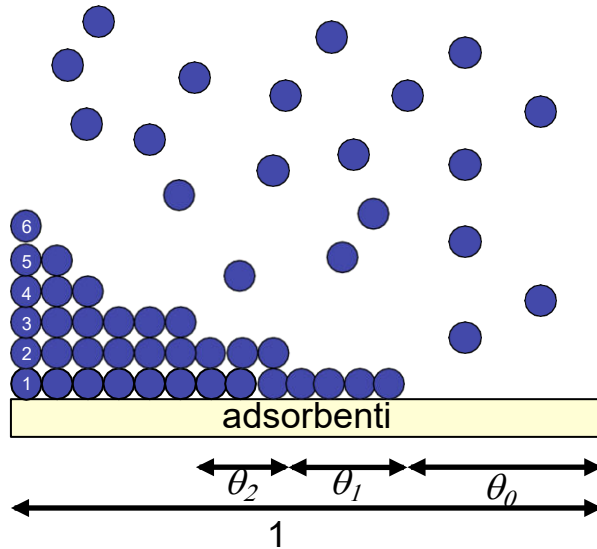


Kondensimi kapilar

# Adsorbimi i azotit $N_2$ mbi silicë në 77 K



# Izoterma BET (Brunauer, Emmett, Teller)\*



Përshkruan të gjitha llojet e izotermave

Kushtëzimet:

- Adsorbim shumëshresor
- Shtresa e parë: Adsorbim sipas Langmuir
- Shtresa e dytë dhe ato më sipër: kondesimi i gazit në lëng
- Nxehtësia e adsorbimit:  
Shtresa e parë > shtresa e dytë = ... = ... = nxehtësia e kondensimit

$$\theta = \frac{A}{A_{\infty}} = \frac{C \cdot (p/p_0)}{(1 - p/p_0) \cdot [1 - p/p_0 + C(p/p_0)]}$$

$p_0$  ...presioni i avullit të azotit të lëngët  $N_2$

\* S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller, J. Am. Chem. Soc. 60 (1938) 309.

# Grafiku i linearizuar BET

$$\frac{\frac{p}{p_0}}{A \left(1 - \frac{p}{p_0}\right)} = \frac{1}{A_\infty C} + \frac{C-1}{A_\infty C} \left(\frac{p}{p_0}\right)$$

$$A_\infty = \frac{1}{s+i}$$

$$C = \frac{s}{i} + 1$$

$$S = \frac{A_\infty N_A \omega_{N_2}}{m_{adsorbentit}}$$

$$S_{sp.} = \frac{S}{m}$$

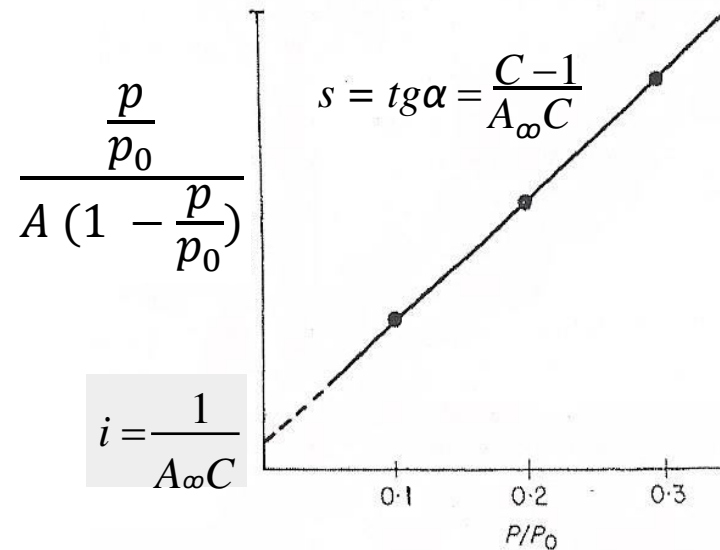
## Grafiku BET me një pikë

Hipoteza:

Për vlera të larta të C, ordinata në origjinë mund të konsiderohet zero

$$A_\infty = A \left(1 - \frac{p}{p_0}\right) \quad S = A \left(1 - \frac{p}{p_0}\right) \frac{N_A \omega_{N_2}}{M_{adsorbent}}$$

Presione relative ku formohet monoshtrësë complete  
 $0.05 < p/p_0 < 0.3$



A ... numri i moleve të  $N_2$  të adsorbuar

$A_\infty$  ... Numri i moleve të  $N_2$  të nevojshëm për të krijuar monoshtrësën (kapaciteti i monoshtrësës)

# shë BET

Në zonën e presioneve relative ku kompletohet shtresa monomolekulare ( $0.05 < p/p_0 < 0.3$ ) eksperimenti dhe teoria përputhen mirë

→ metodë e saktë e përcaktimit të sipërfaqes specifike

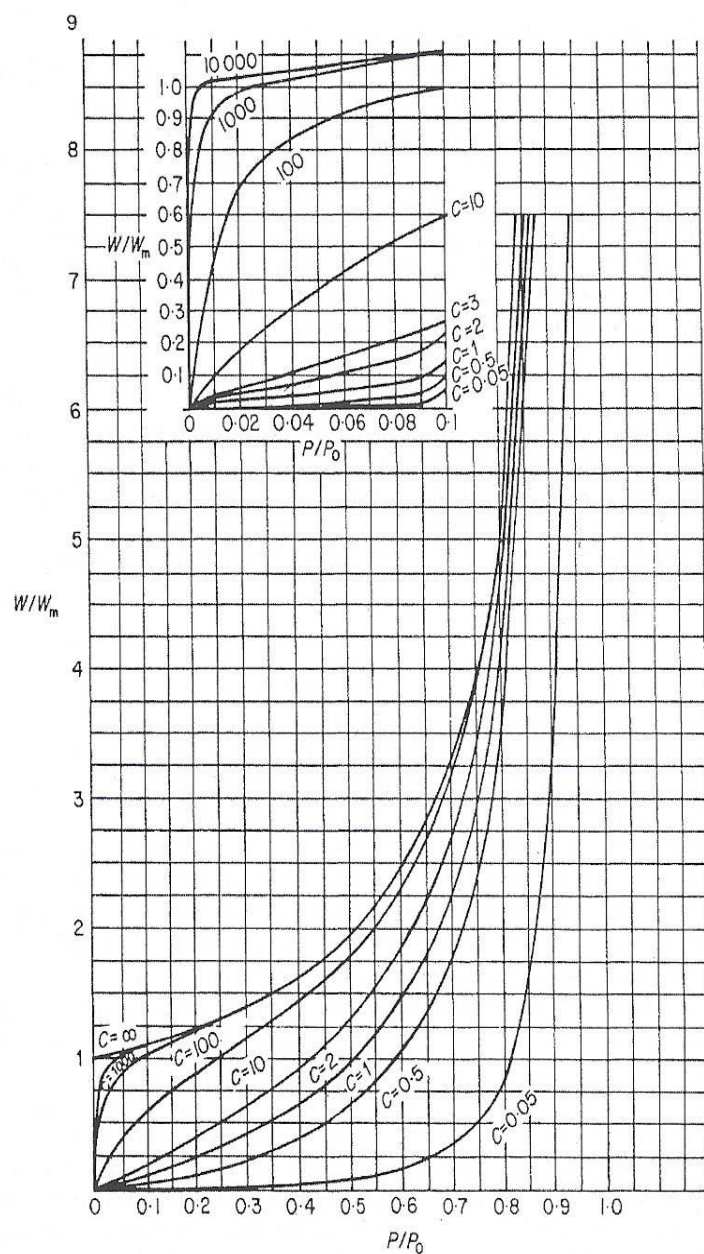


Figure 5.3 Isotherm shapes as a function of BET C values.

$$C = e^{(\Delta_{\text{des}}H - \Delta_{\text{ev}}H)/RT}$$

Table 5.3 Values of  $W/W_m$  and relative pressures for various values of  $C$ .

$P/P_0$	$C=0.05$	$C=0.5$	$C=1$	$C=2$	$C=3$	$C=10$	$C=100$	$C=1000$
0.02	0.001	0.010	0.020	0.040	0.059	0.173	0.685	0.973
0.05	0.003	0.027	0.052	0.100	0.143	0.362	0.884	1.030
0.10	0.006	0.058	0.111	0.202	0.278	0.585	1.020	1.100
0.20	0.015	0.139	0.250	0.417	0.536	0.893	1.200	1.250
0.30	0.030	0.253	0.429	0.660	0.804	1.160	1.400	1.430
0.40	0.054	0.417	0.667	0.952	1.110	1.450	1.640	1.660
0.50	0.095	0.667	1.000	1.330	1.500	1.820	1.980	2.000
0.60	0.172	1.060	1.490	1.870	2.040	2.340	2.480	2.500
0.70	0.345	1.790	2.330	2.740	2.910	3.190	3.320	3.330
0.80	0.833	3.330	4.000	4.440	4.620	4.880	4.990	5.000
0.90	3.330	8.330	9.090	9.520	9.680	9.900	9.990	10.000
0.94	7.350	14.700	15.700	16.200	16.300	16.600	16.700	16.700



## Kufizimet

- Teoria BET nuk merr parasysh moshomogjenitetet e sipërfaqes dhe bashkëveprimet ndërmjet molekulave të adsorbuara të adsorbatit

*Qendrat e adsorbimit me energji të lartë do të adsorbojnë molekula në presione relative më të ulta. Arsye për jolinearitet në grafikun e linearizuar BET në  $p/p_0 < 0.05$*

- Forcat e polarizimit do të indukojnë një nxehtësi të adsorbimit më të lartë në shtresën e dytë sesa në të tretën e kështu me rradhë

*Arsye për pasaktësinë e ekuacionit BET në  $p/p_0 > 0.3$*

- Ekuacioni BET është i zbatueshëm për analizën e sipërfaqes së materialeve nanoporoze

*Ka vështirësi për dallimin e adsorbimit mono-shumështresor nga mbushja e poreve*

*Mbushja e **mikroporeve** kryhet deri në  $p/p_0 < 0.1$ , sidoqoftë, grafikët e linearizuar BET zbatohen edhe në presione relative më të ulta.*

*→ sipërfaqet e matura nuk japin sipërfaqen e brendshme reale, por një sipërfaqe “karakterisitike” BET.*

*Për **materiale mezoporoze** që shfaqin diametra të poreve ndërmjet **2 dhe 4 nm**, mbushja e poreve ndodh në presione pranë formimit të mono/shumështresave*

*→ mbivlerësim të kapacitetit të monoshtrësës*



# Sipërfaqja e një molecule të adsorbuar të adsorbatit

Table 5.4 Cross-sectional areas of some frequently used adsorptives.

Adsorptive Temperature	Cross-sectional area (Å <sup>2</sup> )[15]	Customary Value (Å <sup>2</sup> )
Nitrogen 77.35 K	13.0 - 20.0	16.2
Argon 77.35 K	10.0 - 19.0	13.8
Argon 87.27 K	9.7 - 18.5	14.2
Krypton 77.35 K	17.6 - 22.8	20.2
Xenon 77.35 K	6.5 - 29.9	16.8
Carbon Dioxide 195 K	14 - 22.0	19.5
273 K		21.0
Oxygen 77.35 K	13 - 20	14.1
Water 298.15 K	6 - 19	12.5
n-Butane 273.15 K	36 - 54	44.4
Benzene 293.15 K	73 - 49	43.0

Krytoni përdoret për përcaktimin e sipërfaqeve specifike të vogla (0.5-0.05 m<sup>2</sup>) për shkak të presionit të ulët të avujve të ngopur të tij në 77K

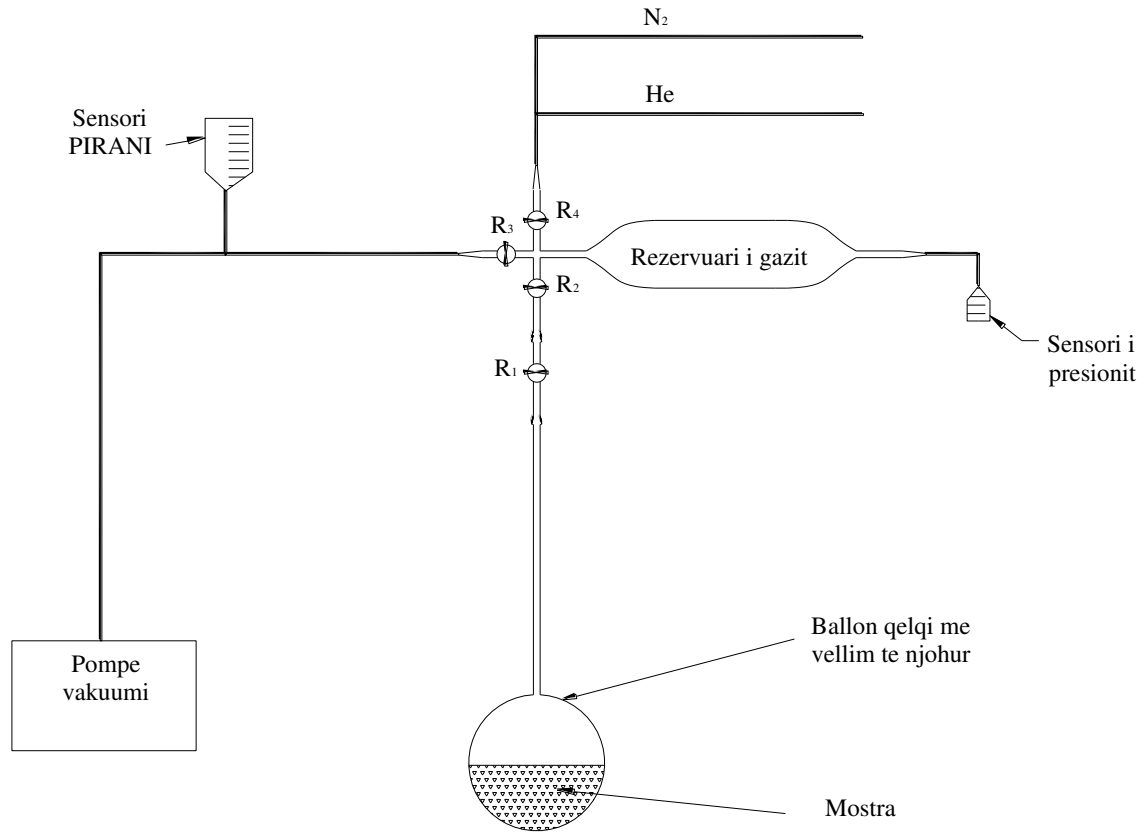
## ***Azoti si adsorbat standard***

Për shumicën e adsorbentëve konstantja C ndodhet në intervalin nga 50 në 300 (nuk ka prani të bashkëveprimeve të dobta van der Waals-iane, as kimisorbim).

Momenti i tij quadrupol i përhershëm është përgjegjës për formimin e shtresave monomolekulare të përcaktuara qartë në shumicën e sipërfaqeve.

Mbivlerësim i sipërfaqeve specifike të silicave të hidroksiluara prej 20% për shkak të bashkëveprimeve specifike me grupet polare në sipërfaqe (përdoret  $\omega = 13.5 \text{ Å}^2$ )

# Teknika vëllimetrike e matjes së adsorbimit të gazeve



# Llogaritja

Per llogaritjen e sasise adsorbuar te materialit, aparatura ndahet ne tre pjese volumetrike; rezervuari i gazit, zona e rubinetave te qelqit midis rubinetave 1 dhe 2 si dhe ena e proves. Para se te hapet rubineti i proves  $R_1$  rezervuari i gazit eshte ndare nga dy zona te tjera. pasi hapen te tre zonat lidhen me njera tjetren, per secilen prej ketyre tre zonave per cdo hap te adsorbimit behet nje bilanc i mases duke perdorur ligjin e gazeve ideale.

# Llogaritja

Ne rezervuarin e gazit me vëllim  $V_{RG}$  kemi temperaturën e mjedisit (e cila mund të matet drejtpërdrejt në mjedis)  $T_{RG}$ . Përpara hapit të adsorbimit ai ndodhet nën presionin  $P_{ORG}$  dhe pas adsorbimit presioni  $P_{1RG}$ . Kështu për ndryshimin e sasisë së materialit në rezervuarin e gazit kemi:

$$\Delta n_{RG} = \frac{(P_{1RG} - P_{ORG}) V_{RG}}{RT_{RG}} \quad (1)$$

# Llogaritja

Ne zonen midis rubinetave te qelqit ndermjet rubinetave  $R_1$  dhe  $R_2$  me vellim  $V_{RQ}$  mbizoteron gjithashtu temperatura e mjedisit. Bilanci imases per kete zone jepet nga presioni para dhe pas adsorbimit..

$$\Delta n_{RQ} = \frac{(P_{1RQ} - P_{0RQ}) V_{RQ}}{RT_{RQ}} \quad (2)$$

# Llogaritja

Ne enen e mostres me vëllim  $V_{EM}$  mbizoteron temperatura e banjës së termostatizimit  $T_M$  (M për mostër). Ne enen e mostres në pjesën që qëndron jashtë banjës së termostatizimit deri në rubinetin  $R_1$  kemi një gradient temperature që nisët nga temperatura e mjedisit dhe perfundon. Në rastin e azotit të lenget temperatura e enës së mostres nuk matet direkt, por gjendet nëpërmjet presionit atmosferik të ditës. Me presionet e matura në enen e mostres para dhe pas hapit të adsorbimit si dhe me vëllimet e njohura të enës së mostres  $V_{EM}$  dhe të mostres  $V_M$  kemi sasinë e materialit të adsortivit në fazën e gazte.

$$\Delta n_{EM} = \frac{(P_{1EM} - P_{0EM})(V_{EM} - V_M)}{RT_M} \quad (3)$$

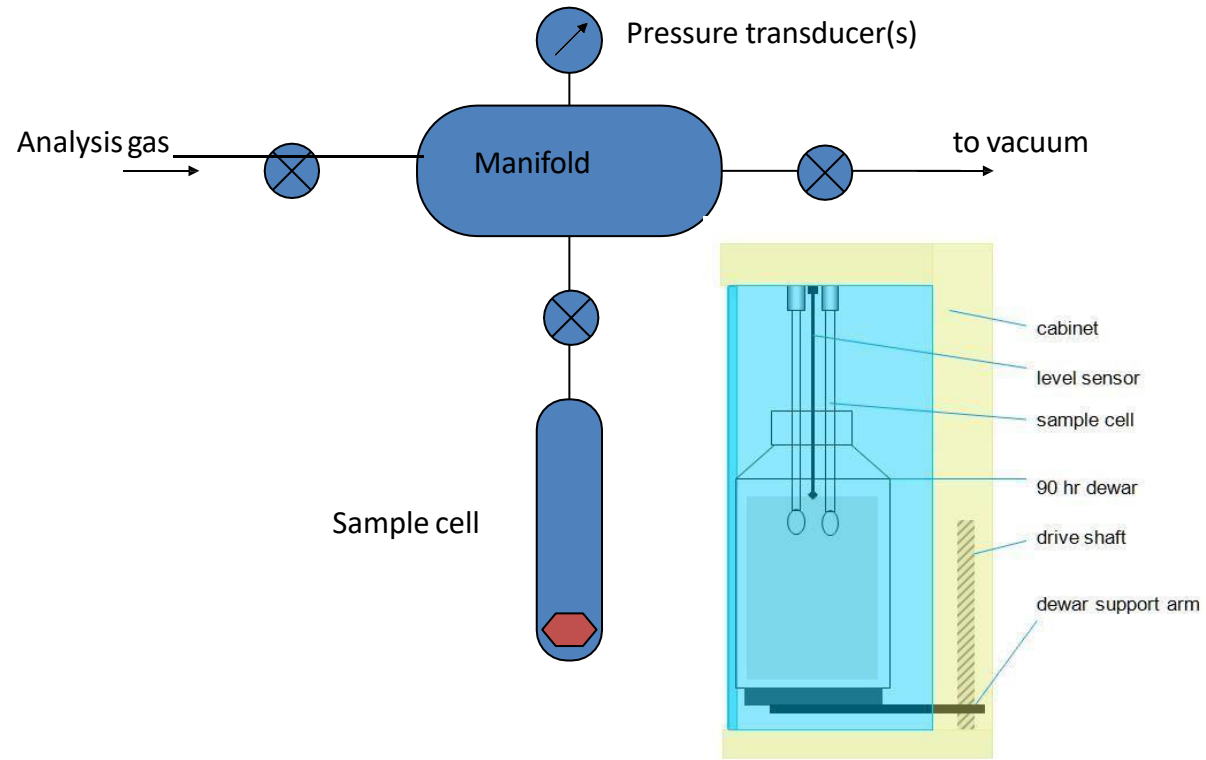
# Llogaritja

Sasia e materialit te adsorbuar gjate nje hapi adsorbimi  $\Delta n_{\text{ads}}$  del si diference e bilancit te pergjithshem te sasive te materialit. Sigurisht qe sa gaz ka hyre ne zonen e mostres, po aq ka dale nga rezervuari i gazit. Keshtu nga barazimet (1) dhe (3).

$$\Delta n_{\text{RG}} = \Delta n_{\text{RQ}} + \Delta n_{\text{EM}} + \Delta n_{\text{ads}}$$



# Basic Construction



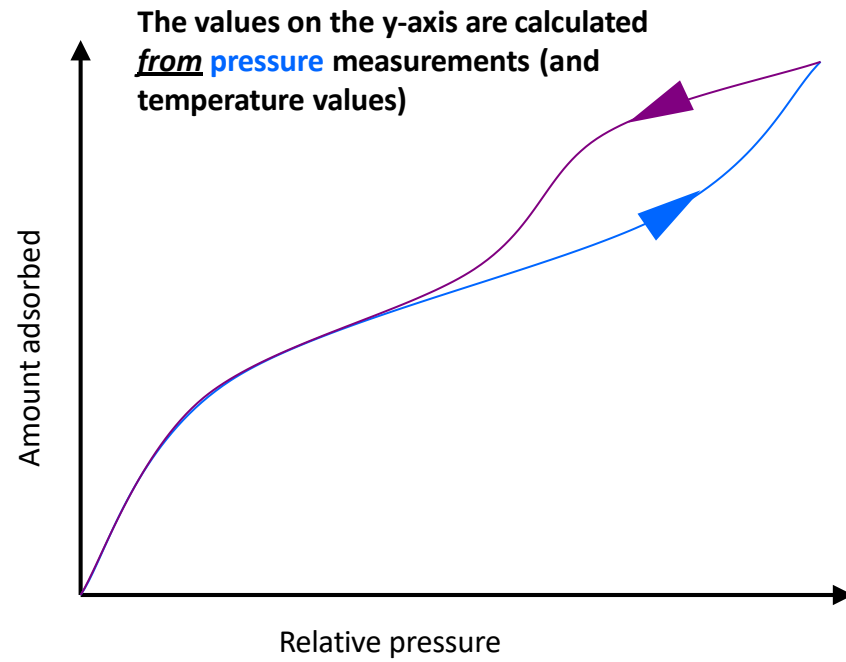
# Cfarë matim nëpërmjet teknikës vëllimetrike?

- Matim drejtpërdrejt sip specifike dhe madhësinë e poreve?
- JO!! Regjistron presione të ndryshme të gazit në aparaturën e qelqit gjatë adsorbimit / desorbimit.

*Prej presioneve para dhe pas ekuilibrit llogarisim numrin e moleve të adsorbuar të azotit mbi qymyrin aktiv. Sipërfaqja specifike përcaktohet pasi rezultatet e izotermës përdoren për përcaktimin e koordinatave të linearizuara sipas Langmuir dhe BET dhe nga grafikët e linearizuara përcaktohet kapaciteti i monoshtresës  $A_{inf}$*

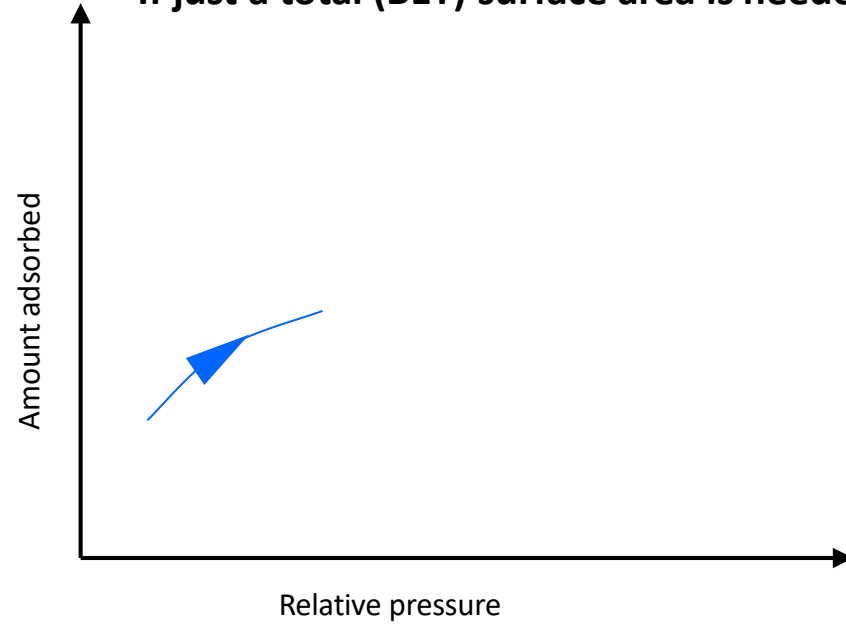
- Matja e presionit është kritike për saktësinë e rezultateve!

# What Is The Result?



# What To Analyze?

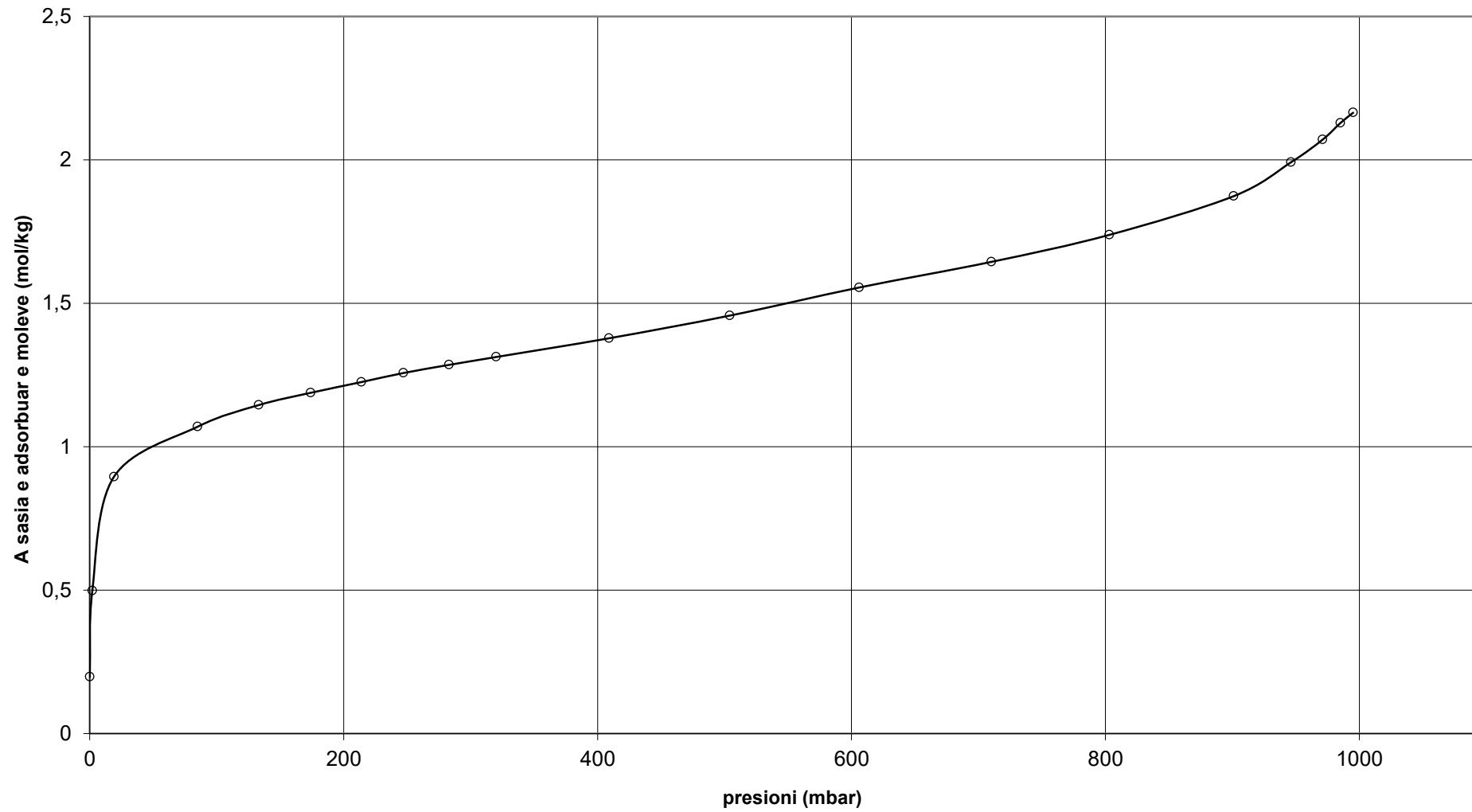
If just a total (BET) surface area is needed:



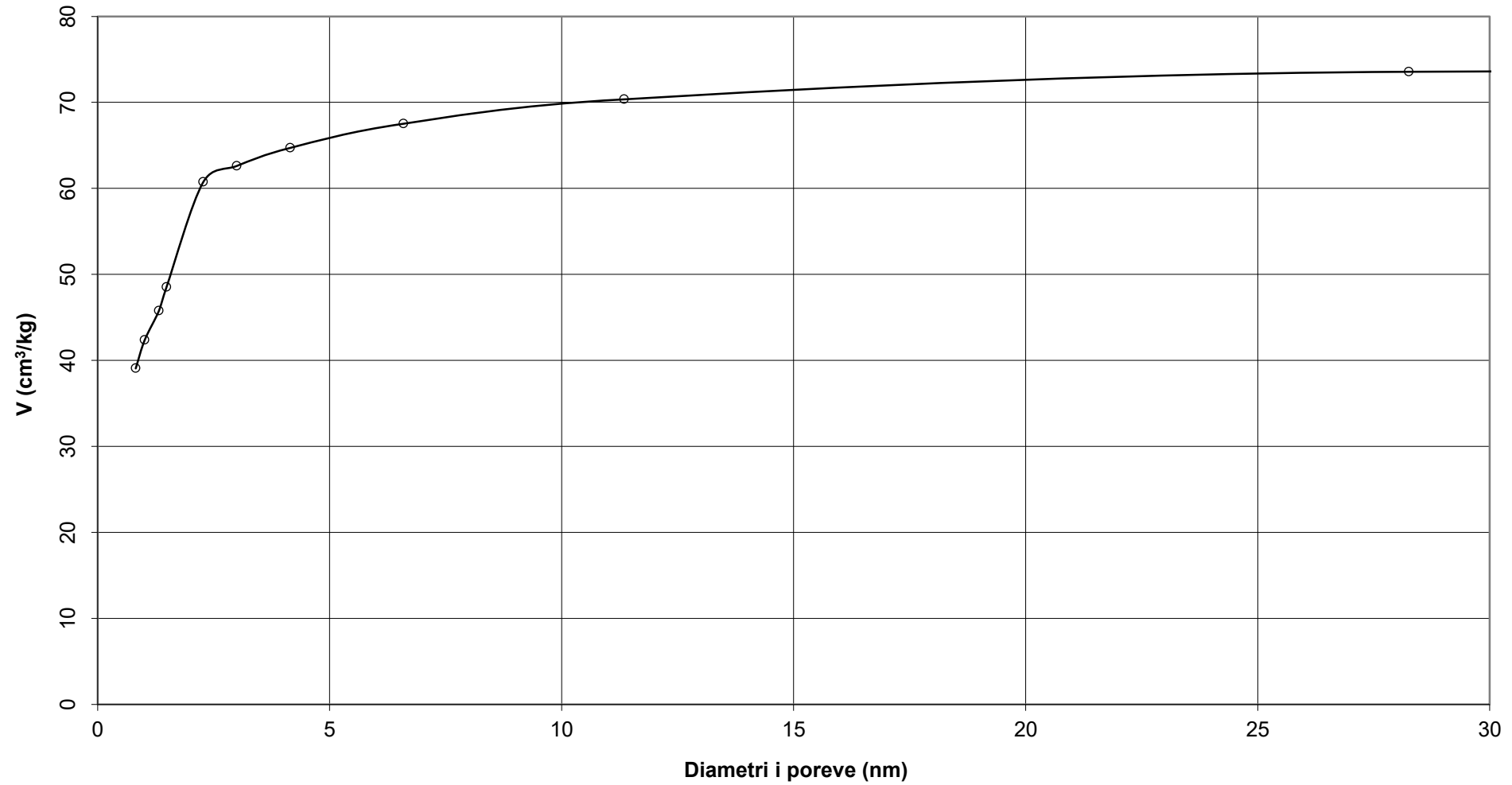
**Te dhenat e punes se labororit nr. 5 “Matja e adsorbim / desorbimit te azotit N<sub>2</sub> te gazte mbi alumina standarde me tekniken vëllimetrike**

<b>A Numri i moleve të adsorbuara (mol/kg)</b>	<b>P ekuiliber (mbar)</b>	<b>Masa e mostres (g) = 1.9236</b>
0.197	0	
0.498	1	
0.895	26	
1.070	71	
1.145	110	
1.188	141	
1.225	168	
1.257	194	
1.285	214	
1.313	238	
1.378	262	
1.457	286	
1.555	330	
1.644	375	

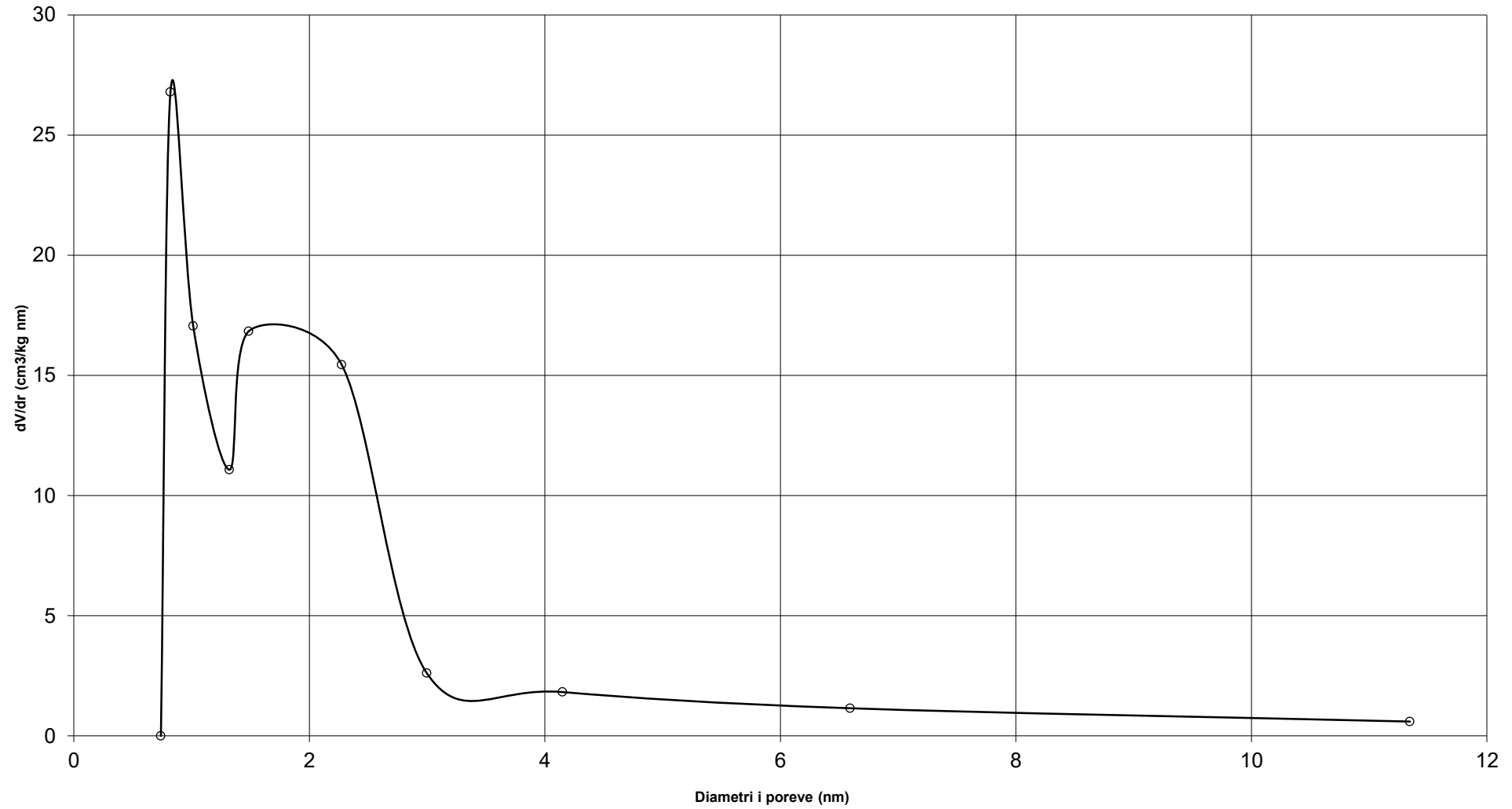
### Izoterma e adsorbimit te argjiles P\_10\_6\_A



### Shperndarja integrale e poreve sipas madhesisse per argjilen P\_10\_6\_A



### Shperndarja diferenciale e poreve sipas madhësisë për argjilën P\_10\_6\_A





# Të dhënat e kurbës së desorbimit të azotit N<sub>2</sub> në T = 77 K nga argjila e Prrenjasit

	p pas desorbimit (mbar)		Numri i moleve të adsorbuara (mol/kg)
	995.1157748	Masa e mostrës (g) = 1.6873 gram	2.16428956
	980.1140294		2.120647949
	936.1089097		2.028175453
	869.1011138		1.946453628
	776.0902927		1.86543775
	676.078657		1.804864296
	570.0663232	Temperatura e dhomes = T <sub>RQ</sub> (°C) = 23.5	1.750529462
	421.0489861		1.398639813
	314.036536	Temperatura e mostres (K) = 90	1.319016678
	193.0224568		1.221040232
	107.0124502	Presioni atmosferik (mbar) = 988	1.126163947
	66.00767953	Vellimi i rezervuarit te gazit (ml) =270.8	1.06348223
		Vellimi RQ (ml) = 4.0	
		Vellimi i EM (ml) =12.35	

## **Punë laboratori Nr. 6.1**

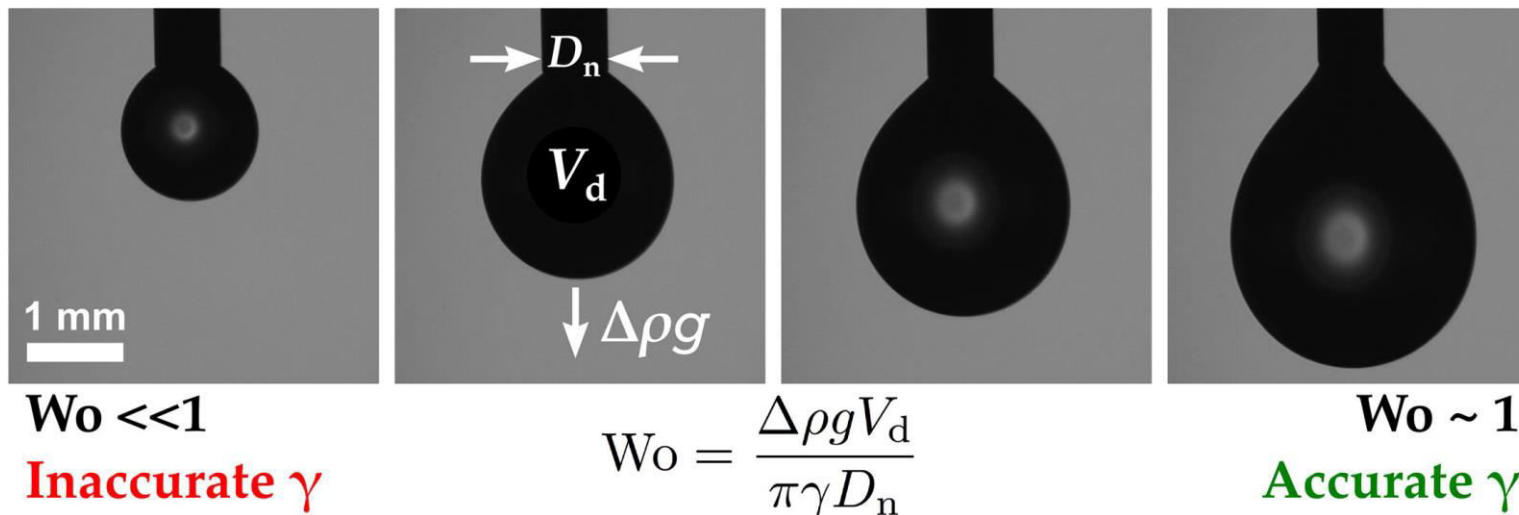
**Tema: Matja e tensionit sipërfaqësor për disa perzjerje të ndryshme ujë-etanol me teknikën e pikës pezull.**

Mjetet e punës:

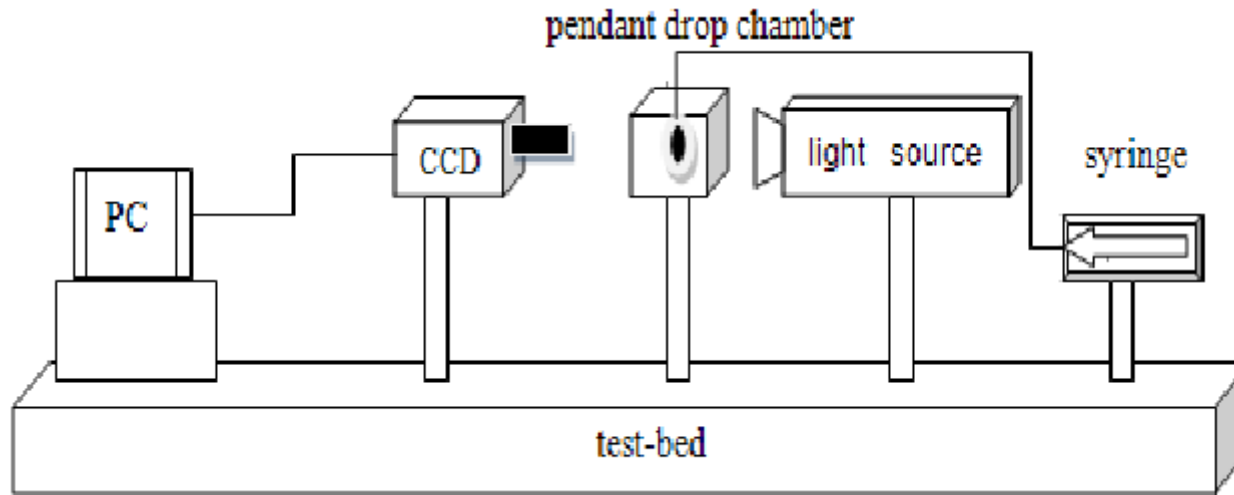
Tensiometër DSA-100 - Kruess, tretësira ujore të etanolit me përqëndrime 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M, 4 M,

# Teknika e pikës pezull (Pendant Drop Method)

Kur lëngu shtyhet përmes një maje të një kapilari në drejtimin vertikal, pika qëndron e varur në majën e kapilarit. Kjo quhet pika pezull. Meqenëse sasia e lëngut në pikën pezull varet nga dendësia e lëngut, tensioni sipërfaqësor dhe sipërfaqja e pikës, tensioni sipërfaqësor dhe sipërfaqja mund të përcaktohet duke analizuar formën e kësaj pike. Metoda e pikës pezull është e përshtatshme edhe për lëngje shumë viskozë që nuk lagin pllaka lehtësisht, polimere të shkrirë dhe për matjen e tensionit ndërfaqor midis dy lëngjeve.



# Paraqitja skematike e Tensiometrit Kruess D-10



Prezantim me video i procedures se matjes se tensionit sipërfaqesor të lëngjeve me teknikën e pikës pezull

<https://youtu.be/MqNJcs0VMu4>

## Përshkrimi i eksperimentit:

1. Prgatiten 6 tretësira të etanolit në ujë me përqëndrimet 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M.
2. Mbushet shiringa me tretësirën përkatëse dhe përcaktohet tensioni sipërfaqësor i tretësirës me teknikën e pikës pezull (Pendant drop) në tensiometrin DSA-100 të prodhuesit Kruess GmbH.
3. Përcaktohet nëpërmjet teknikës “fitting” vlera e faktorit të formës  $\beta$  që përshkruan më mirë profilin e pikës pezull për ujin, etanolin dhe përzjerjet e tyre.
4. Përcaktohet diametri maksimal  $d_e$  dhe  $d_s$  nga imazhi i profilit të pikës pezull për ujin, etanolin dhe përzjerjet e tyre.

# Paraqitja e matjeve dhe rezultateve

1. Paraqitni vlerat e matjeve të  $S = ds/de$  sipas metodes 1 në një tabelë, gjeni nga tabelat vlerën e parametrin të formës H, llogarisni vlerën e tensionit sipërfaqësor për ujin, etanolin dhe cdo përzjerje.
2. Paraqitni vlerat e matjeve të  $\beta$  sipas metodës 2 “fitting” në një tabelë dhe llogarisni vlerën e tensionit sipërfaqësor për ujin, etanolin dhe cdo përzjerje.
3. Ndërtoni në një grafik varësinë e tensionit sipërfaqësor të përzjerjeve ujë-etanol nga përqëndimi në vëllim i etanolit.
4. Jepni konkluzionet tuaja duke krahasuar saktësinë e përcaktimit të tensionit sipërfaqësor me secilën metodë.



## Literatura:

- Physical Chemistry of Surfaces, 6th Edition, [Arthur W. Adamson](#), [Alice P. Gast](#), ISBN: 978-0-471-14873-9, September 1997. faqe 26 – 30.

# Aplikimi i ekuacionit të Young – Laplace-it për përcaktimin e tensionit sipërfaqësor të lëngjeve nëpërmjet teknikës së pikës pezull ose “pendant drop”.

Analiza e formës së pikës pezull bazohet në ekuacionin e Young - Laplace. Ky ekuacion përshkruan diferencën e presionit (presioni shtesë i Laplace-it) ndërmjet zonave brenda dhe jashtë një sipërfaqeje lëngu të kurbëzuar me rreze të kurbëzimit  $R_i$

$$\Delta P = (P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Forcat që përcaktojnë formën e pikës pezull janë në veçanti tensioni sipërfaqësor dhe tërheqja gravitacionale. Tensioni sipërfaqësor kërkon të minimizojë sipërfaqen dhe ti japë pikës një formë sferike. Nga ana tjetër gravitacioni e “tërheq” pikën nga kjo formë sferike dhe rezulton forma tipike e ngjashme me dardhën.

Aplikimi i ekuacionit të Young – Laplace-it për përcaktimin e tensionit sipërfaqësor të lëngjeve nëpërmjet teknikës së pendant drop.

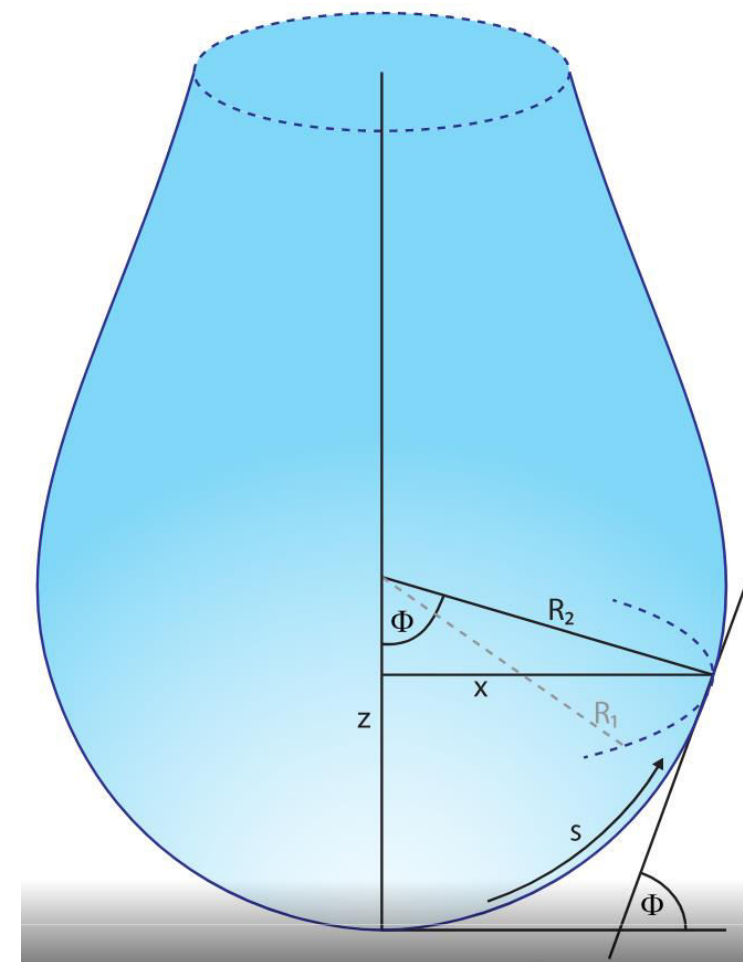
Gravitacioni shkakton një ndryshim të presionit në drejtimin e boshtit  $z$  sipas ligjit të Pascal-it (presioni hidrostatik). Prandaj presioni i Laplace  $\Delta P (z)$  në një distancë  $z$  nga një plan referimi arbitrar me presion shtesë të Laplace-it  $\Delta P_0$  është:

$$\Delta P (z) = \Delta P_0 \pm \Delta \rho g z$$

Për një pikë pezull rrezet kryesore të kurbëzimit në kulm (pika më e ulët e pikës) janë:  $R_1 = R_2 = R$ . Prandaj është e përshtatshme të vendoset plani i referencës në këtë pikë. Për çdo pikë mbi këtë plan vlen  $R_2 = x/\sin \Phi$  (shih figurën).

Ekuacionet e sipërpërmendura çojnë në:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{\sin \Phi}{x} = \frac{2}{R} \pm \frac{\Delta \rho g z}{\sigma}$$



# PËRKUFIZIMI I FAKTORIT TË FORMËS SË PIKËS PEZULL DHE FORMULA PËR PËRCAKTIMIN E TENSIONIT SIPËRFAQSOR

Përdorimi i parametrave si gjatësia e harkut  $S$  të formës së pikës rezulton në tre ekuacionet diferenciale të rendit të parë këtu më poshtë me tre vlera kufitare, që mund të zgjidhen nëpërmjet procedurave numerike iterative:

$$\frac{d\Phi}{ds} = -\frac{\sin \Phi}{x} + \frac{2}{R} \pm \frac{\Delta\rho g z}{\sigma}$$

ose

$$\frac{1}{R} = \frac{d\theta}{ds} = 2 + \beta^* z - \frac{\sin \theta}{x}$$

$$\frac{dx}{ds} = \cos \Phi$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin \Phi$$

$$0 = x(s=0) = z(s=0) = \Phi(s=0)$$

**FAKTORI I FORMËS**

$$\beta = \frac{-g * \Delta\rho}{\sigma}$$

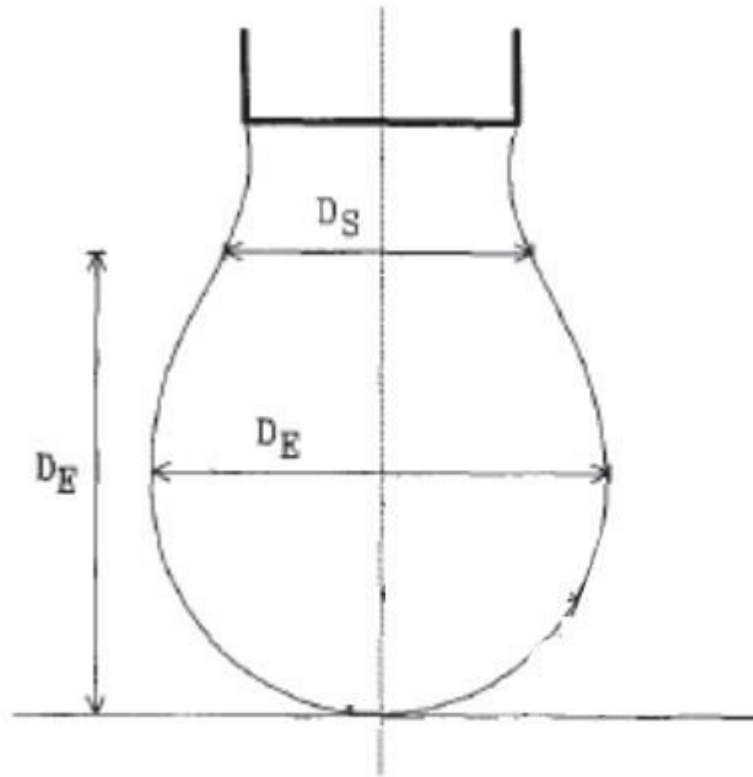
**TENSIONI SIPËRFAQSOR**

$$\sigma = \frac{-\Delta\rho * g}{\beta}$$

# METODAT PËR PËRCAKTIMIN E FAKTORIT TË FORMËS $\beta$

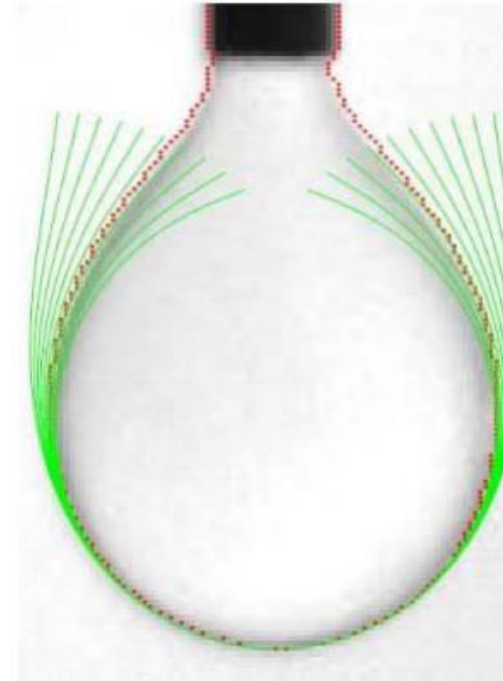
## METODA 1

Nëpërmjet matjes së diametrave  $d_s$  dhe  $d_e$



## METODA 2

Nëpërmjet teknikës së përputhjes së profilit të pikës pezull me profilin e llogaritur për vlera të ndryshme që i japim  $\beta$ , ose “fitting”

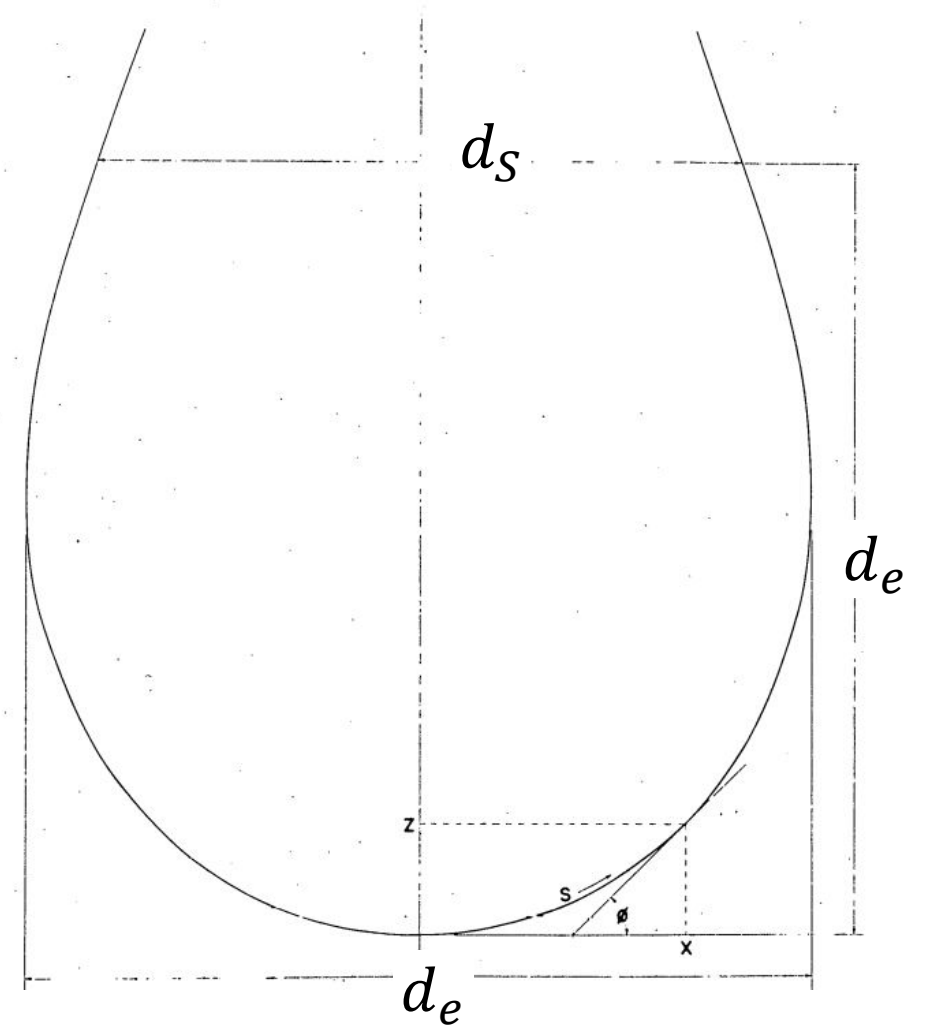


# Metoda 1 $ds/de$ .

Kjo metodë llogarit tensionin sipërfaqësor duke matur diametrin  $ds$  të një pike pezull në një pozicion me distancë sa  $de$  nga pika më e ulët e pikës (apex-i).

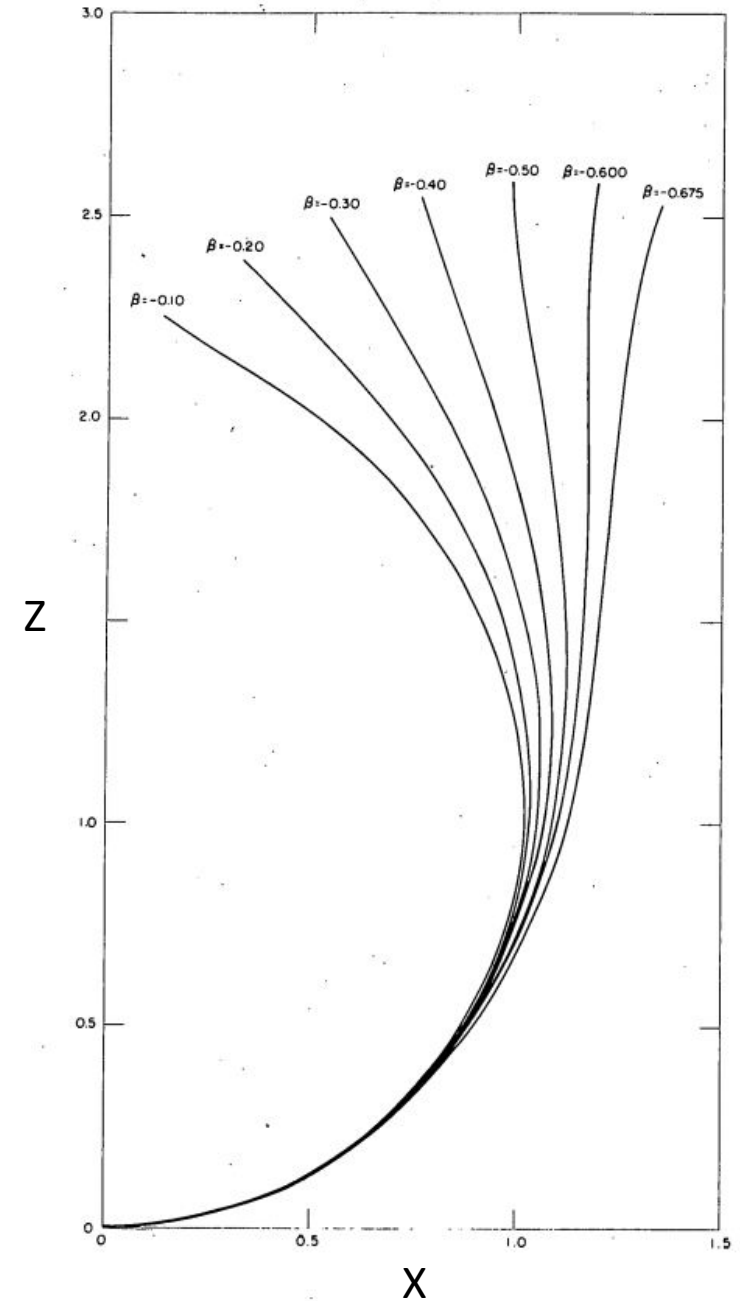
$de$  është diametri maksimal i pikës pezull varës (diametri i planit ekuatorial).

$$s = \frac{ds}{de}$$



## METODA 2 “fitting”

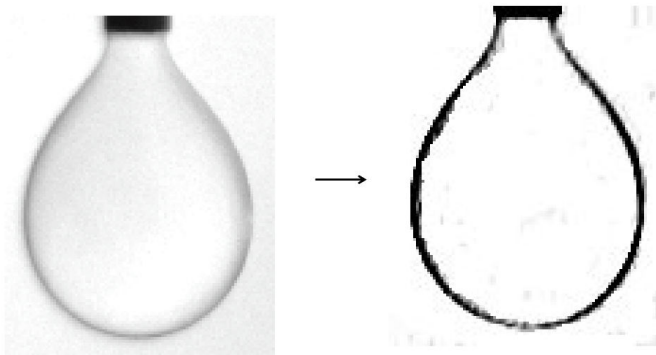
Konturet e pikës pezull të përshkruara si funksion i  $\beta$



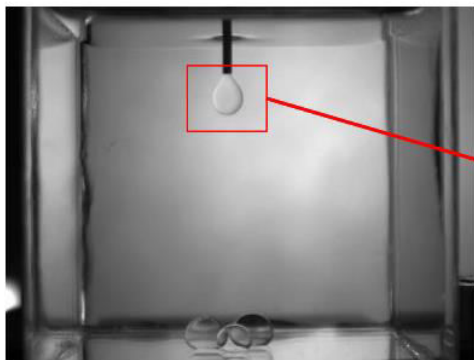
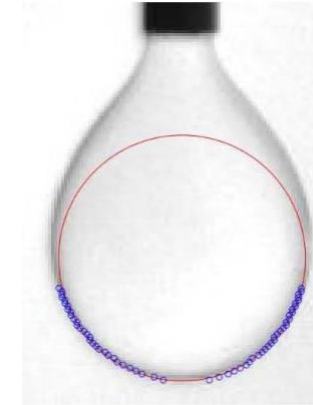
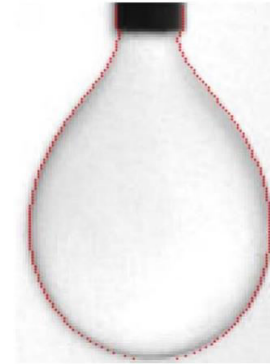


# Përpunimi i imazhit të pikës pezull nëpërmjet softwerit

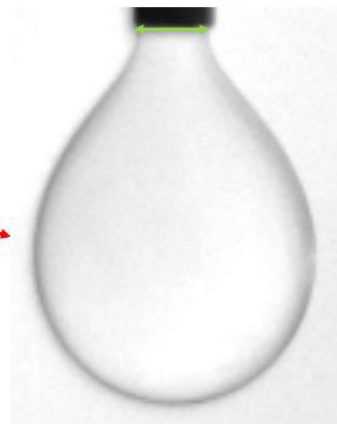
Zmadhimi i imazhit



Përcaktimi i kufirit



Needle diameter: 0.9 mm



Përcaktimi i  $d_e$  dhe  $d_s$  pasi njohim diametrin e shiringës së tensiometrit

# Metoda 1 $ds/de$ . (vazhdim)

$$\frac{1}{H} = \frac{-1}{\beta * d_e^2}$$

$$S = \frac{ds}{de}$$

$$\sigma = \frac{\Delta \rho g d_e^2}{H}$$

Ku  $H$  është variabli i përcaktimit të formës. Lidhja ndërmjet formës së pikës pezull  $H$  dhe formës së matur eksperimentalisht të profilit të pikës pezull përcaktohet në mënyrë empirike. Një seri e kompletuar e saktë  $1/H$  kundrejt vlerave të  $S$  merret nëpër tabela. Vlera e  $S$  do të njehsohet pasi matet  $d_e$  dhe  $d_s$  prej formës së pikës pezull, më pas  $1/H$  përcaktohet prej tabelave më poshtë.

Table I

PARAMETERS FOR CALCULATING SURFACE TENSION  
(1/H as a Function of S at Intervals of 0.001)

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.20	19.35325	19.15633	18.96089	18.76692	18.57443	18.38343	18.19390	18.00584	17.81927	17.63418
0.21	17.45056	17.26842	17.08776	16.90858	16.73087	16.55465	16.37990	16.20663	16.03484	15.86452
0.22	15.69569	15.52833	15.36245	15.19805	15.03513	14.87369	14.71372	14.55524	14.39823	14.24270
0.23	14.08864	13.93607	13.78497	13.63535	13.48721	13.34055	13.19537	13.05167	12.90944	12.76869
0.24	12.62942	12.49163	12.35531	12.22048	12.08712	11.95524	11.82484	11.69592	11.56848	11.44251
0.25	11.31802	11.19501	11.07348	10.95343	10.83485	10.71776	10.60214	10.48800	10.37534	10.26415
0.26	10.15445	10.04622	9.93947	9.83420	9.73041	9.62809	9.52726	9.42790	9.33002	9.23362
0.27	9.13870	9.04525	8.95328	8.86280	8.77379	8.68625	8.60020	8.51562	8.43253	8.35091
0.28	8.27077	8.19211	8.11492	8.03921	7.96499	7.89224	7.82028	7.74982	7.68081	7.61323
0.29	7.77429	7.70640	7.63914	7.57252	7.50655	7.44121	7.37651	7.31245	7.24903	7.18625
0.30	7.12411	7.06261	7.00175	6.94153	6.88195	6.82301	6.76471	6.70704	6.65002	6.59364
0.31	6.53790	6.48279	6.42833	6.37450	6.32132	6.26878	6.21687	6.16560	6.11498	6.06499
0.32	6.01565	5.96694	5.91887	5.87144	5.82466	5.77851	5.73300	5.68813	5.64390	5.60027
0.33	5.60579	5.56287	5.52033	5.47815	5.43635	5.39491	5.35385	5.31316	5.27284	5.23289
0.34	5.19331	5.15410	5.11526	5.07679	5.03869	5.00096	4.96361	4.92662	4.89000	4.85376
0.35	4.81788	4.78238	4.74725	4.71248	4.67809	4.64407	4.61042	4.57714	4.54423	4.51169
0.36	4.47952	4.44772	4.41629	4.38523	4.37119	4.34076	4.31058	4.28065	4.25096	4.22152
0.37	4.19232	4.16337	4.13466	4.10620	4.07798	4.05001	4.02229	3.99481	3.96758	3.94059
0.38	3.91385	3.88735	3.86110	3.83509	3.80933	3.78382	3.75855	3.73353	3.70875	3.68422
0.39	3.65993	3.63589	3.61210	3.58855	3.56524	3.54214	3.51925	3.49658	3.47412	3.45186
0.40	3.43672	3.41471	3.39288	3.37123	3.34975	3.32844	3.30732	3.28636	3.26559	3.24499
0.41	3.22457	3.20432	3.18425	3.16436	3.14464	3.12510	3.10573	3.08654	3.06753	3.04870
0.42	3.03003	3.01155	2.99691	2.97875	2.96073	2.94284	2.92508	2.90745	2.88996	2.87261
0.43	2.85538	2.83829	2.82133	2.80451	2.78782	2.77126	2.75484	2.73855	2.72239	2.70636
0.44	2.69047	2.67471	2.65909	2.64360	2.62824	2.61301	2.59792	2.58297	2.56816	2.55345
0.45	2.54081	2.52629	2.51187	2.49755	2.48334	2.46923	2.45523	2.44133	2.42754	2.41385
0.46	2.40026	2.38678	2.37341	2.36014	2.34697	2.33391	2.32096	2.30811	2.29536	2.28272
0.47	2.27018	2.25899	2.24664	2.23437	2.22218	2.21008	2.19806	2.18613	2.17428	2.16252
0.48	2.15084	2.13924	2.12773	2.11631	2.10497	2.09371	2.08254	2.07145	2.06045	2.04953
0.49	2.03870	2.02795	2.01809	2.00750	1.99698	1.98653	1.97614	1.96583	1.95559	1.94542
0.50	1.93532	1.92529	1.91532	1.90543	1.89561	1.88586	1.87617	1.86656	1.85702	1.84755

Table I (Continued)

PARAMETERS FOR CALCULATING SURFACE TENSION  
( $1/H$  as a Function of  $S$  at Intervals of 0.001)

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.51	1.83814	1.82881	1.81955	1.81089	1.80175	1.79267	1.78365	1.77468	1.76578	1.75693
0.52	1.74815	1.73942	1.73075	1.72214	1.71358	1.70509	1.69666	1.68828	1.67996	1.67170
0.53	1.66351	1.65536	1.64766	1.63963	1.63164	1.62371	1.61583	1.60799	1.60021	1.59248
0.54	1.58479	1.57716	1.56958	1.56204	1.55456	1.54713	1.53975	1.53241	1.52513	1.51790
0.55	1.51099	1.50386	1.49676	1.48971	1.48270	1.47574	1.46882	1.46194	1.45510	1.44831
0.56	1.44156	1.43486	1.42820	1.42158	1.41500	1.40847	1.40198	1.39554	1.38934	1.38297
0.57	1.37665	1.37036	1.36410	1.35789	1.35171	1.34557	1.33947	1.33341	1.32738	1.32139
0.58	1.31544	1.30953	1.30365	1.29781	1.29201	1.28641	1.28067	1.27498	1.26931	1.26368
0.59	1.25808	1.25252	1.24699	1.24149	1.23602	1.23059	1.22519	1.21983	1.21449	1.20920
0.60	1.20393	1.19882	1.19361	1.18844	1.18329	1.17818	1.17309	1.16803	1.16301	1.15801
0.61	1.15304	1.14810	1.14319	1.13831	1.13346	1.12864	1.12385	1.11918	1.11444	1.10973
0.62	1.10505	1.10039	1.09576	1.09115	1.08657	1.08202	1.07749	1.07299	1.06851	1.06407
0.63	1.05964	1.05525	1.05095	1.04661	1.04228	1.03798	1.03371	1.02946	1.02523	1.02102
0.64	1.01684	1.01268	1.00855	1.00444	1.00035	0.99629	0.99225	0.98829	0.98430	0.98032
0.65	0.97637	0.97244	0.96853	0.96464	0.96077	0.95692	0.95310	0.94929	0.94551	0.94175
0.66	0.93801	0.93434	0.93064	0.92696	0.92330	0.91965	0.91603	0.91243	0.90884	0.90528
0.67	0.90173	0.89821	0.89470	0.89121	0.88774	0.88434	0.88091	0.87749	0.87410	0.87072
0.68	0.86736	0.86401	0.86069	0.85738	0.85409	0.85081	0.84756	0.84432	0.84110	0.83793
0.69	0.83474	0.83157	0.82842	0.82528	0.82216	0.81905	0.81596	0.81288	0.80982	0.80678
0.70	0.80375	0.80074	0.79775	0.79480	0.79183	0.78888	0.78595	0.78303	0.78012	0.77723
0.71	0.77435	0.77149	0.76864	0.76581	0.76299	0.76019	0.75743	0.75465	0.75189	0.74914
0.72	0.74641	0.74369	0.74098	0.73828	0.73560	0.73293	0.73028	0.72764	0.72501	0.72242
0.73	0.71982	0.71723	0.71466	0.71209	0.70954	0.70700	0.70447	0.70196	0.69946	0.69697
0.74	0.69449	0.69203	0.68959	0.68715	0.68472	0.68231	0.67990	0.67750	0.67512	0.67275
0.75	0.67039	0.66804	0.66570	0.66338	0.66108	0.65877	0.65648	0.65420	0.65193	0.64966
0.76	0.64741	0.64517	0.64294	0.64073	0.63852	0.63632	0.63413	0.63197	0.62980	0.62765
0.77	0.62550	0.62336	0.62124	0.61912	0.61701	0.61491	0.61283	0.61075	0.60868	0.60663
0.78	0.60459	0.60255	0.60051	0.59849	0.59648	0.59448	0.59248	0.59050	0.58852	0.58656
0.79	0.58460	0.58266	0.58072	0.57879	0.57687	0.57495	0.57305	0.57115	0.56926	0.56738
0.80	0.56551	0.56365	0.56179	0.55995	0.55812	0.55629	0.55446	0.55265	0.55084	0.54904
0.81	0.54725	0.54547	0.54370	0.54193	0.54017	0.53843	0.53669	0.53495	0.53322	0.53150

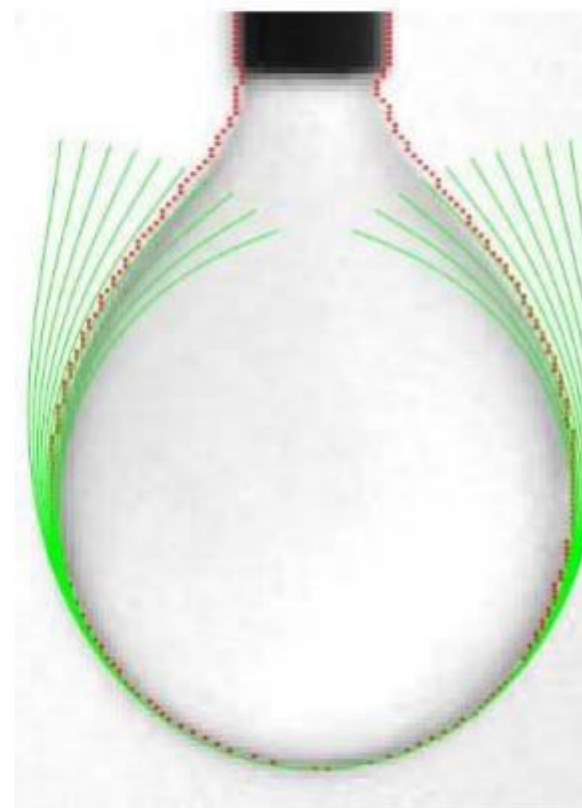
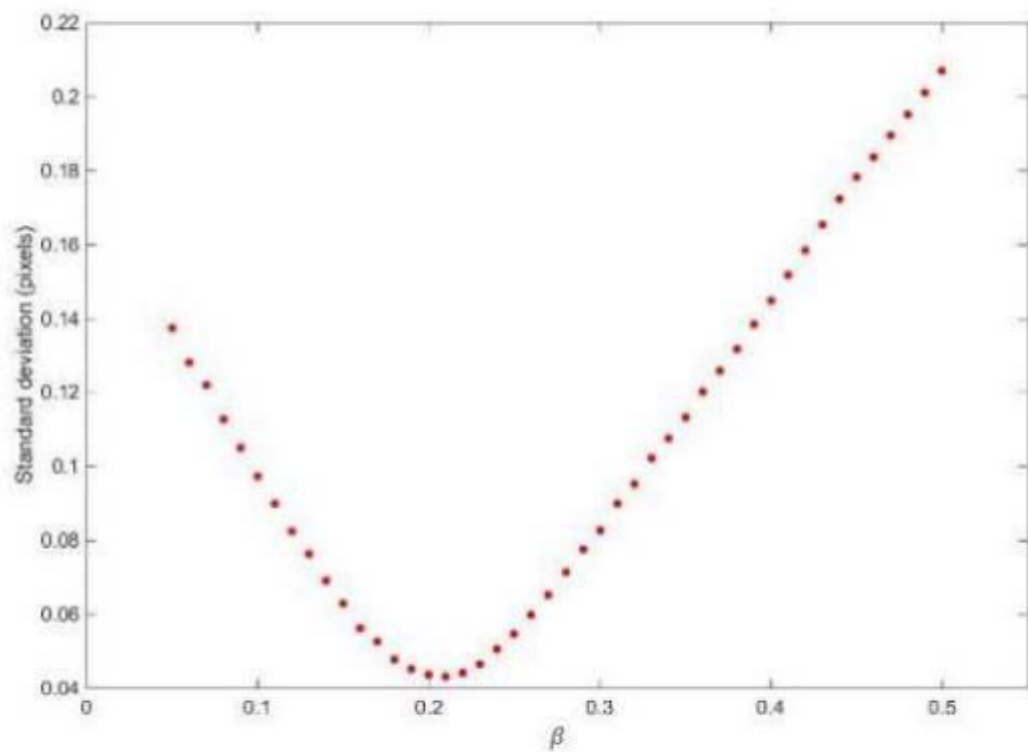
Table I (Continued)

 PARAMETERS FOR CALCULATING SURFACE TENSION  
 ( $1/H$  as a Function of  $S$  at Intervals of 0.001)

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.82	0.52979	0.52808	0.52638	0.52469	0.52300	0.52133	0.51966	0.51800	0.51635	0.51470
0.83	0.51306	0.51142	0.50979	0.50817	0.50656	0.50495	0.50335	0.50176	0.50017	0.49860
0.84	0.49703	0.49546	0.49390	0.49234	0.49080	0.48926	0.48772	0.48619	0.48467	0.48315
0.85	0.48165	0.48015	0.47865	0.47716	0.47568	0.47420	0.47272	0.47126	0.46980	0.46834
0.86	0.46689	0.46545	0.46402	0.46259	0.46116	0.45974	0.45833	0.45692	0.45551	0.45412
0.87	0.45272	0.45134	0.44995	0.44858	0.44722	0.44585	0.44449	0.44314	0.44179	0.44044
0.88	0.43910	0.43777	0.43644	0.43512	0.43380	0.43249	0.43118	0.42988	0.42858	0.42729
0.89	0.42600	0.42472	0.42344	0.42216	0.42089	0.41963	0.41837	0.41712	0.41587	0.41462
0.90	0.41338	0.41214	0.41091	0.40968	0.40846	0.40724	0.40602	0.40481	0.40361	0.40241
0.91	0.40121	0.40002	0.39883	0.39764	0.39646	0.39529	0.39411	0.39294	0.39178	0.39062
0.92	0.38947	0.38831	0.38716	0.38602	0.38488	0.38374	0.38261	0.38147	0.38035	0.37922
0.93	0.37811	0.37700	0.37588	0.37477	0.37367	0.37257	0.37147	0.37037	0.36928	0.36819
0.94	0.36711	0.36602	0.36495	0.36388	0.36280	0.36174	0.36067	0.35960	0.35854	0.35749
0.95	0.35643	0.35538	0.35433	0.35328	0.35225	0.35121	0.35017	0.34913	0.34810	0.34707
0.96	0.34604	0.34501	0.34399	0.34296	0.34195	0.34094	0.33992	0.33891	0.33790	0.33689
0.97	0.33588	0.33487	0.33387	0.33286	0.33186	0.33086	0.32988	0.32888	0.32788	0.32689
0.98	0.32587	0.32489	0.32391	0.32293	0.32194	0.32095	0.31996	0.31897	0.31797	0.31697
0.99	0.31597	0.31497	0.31397	0.31296	0.31195	0.31094	0.30992	0.30891	0.30854	0.30747
1.00	0.30636	0.30519	0.30398	0.30273	0.30142	0.30007	0.29867	0.29722	0.29573	0.29419
1.01	0.29260	0.29096	0.28581	0.28415	0.28254	0.28097	0.27945	0.27796	0.27652	0.27513
1.02	0.27377	0.27246	0.27119	0.26996	0.26878	0.26764	0.26654	0.26548	0.26447	0.26350
1.03	0.26403	0.26309	0.26216	0.26123	0.26031	0.25939	0.25848	0.25757	0.25667	0.25577
1.04	0.25487	0.25398	0.25309	0.25221	0.25133	0.25046	0.24959	0.24874	0.24788	0.24703
1.05	0.24617	0.24533	0.24448	0.24364	0.24281	0.24197	0.24115	0.24032	0.23950	0.23869
1.06	0.23788	0.23707	0.23626	0.23546	0.23467	0.23389	0.23311	0.23232	0.23154	0.23076
1.07	0.22999	0.22922	0.22846	0.22769	0.22694	0.22618	0.22543	0.22468	0.22394	0.22320
1.08	0.22246	0.22173	0.22101	0.22029	0.21957	0.21885	0.21813	0.21742	0.21671	0.21601
1.09	0.21530	0.21460	0.21391	0.21322	0.21253	0.21184	0.21116	0.21048	0.20981	0.20913
1.10	0.20846	0.20780	0.20714	0.20648	0.20582	0.20517	0.20452	0.20387	0.20323	0.20259

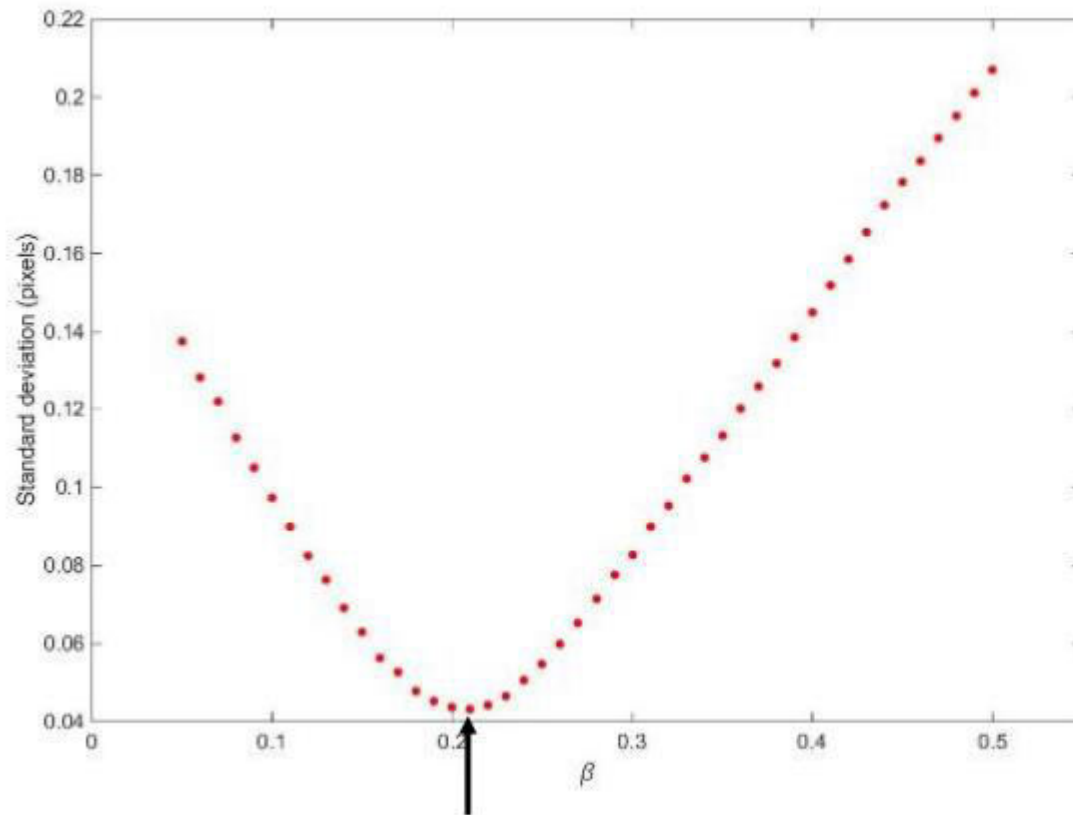


# METODA 2 “fitting” deri në përcaktimin e faktorit të formës që jep profilin më pranë imazhit të pikës pezull



$\beta = 0.05 : 0.01 : 0.5$

# METODA 2 “fitting” deri në përcaktimin e faktorit të formës që jep profilin më pranë imazhit të pikës pezull



# Matjet

TABELA E MATJEVE TE KRYERA ME TENSIOMETRIN KRUESS DSA-100 NE PERZJERJET UJE - ETANOL ME TEKNIKEN E PIKES PEZULL								
Nr.	Permbajtja Etanol ne vellim %	Densiteti (kg/m <sup>3</sup> )	$\beta$ Faktori i formës i përcaktuar me Metodën 2 "fitting"	Tensioni Siperfaqësor $\sigma$ (mN/m) Metodën 2 "fitting"	de mm	S = ds/de	1/H	Tensioni Siperfaqësor $\sigma$ (mN/m) raport
1	100	764	0.3401		2.273	0.4145		
2	90	820.67	0.3221		2.273	0.4164		
3	80	850.89	0.3115		2.273	0.4168		
4	70	877.56	0.3057		2.273	0.4178		
5	60	904.67	0.2993		2.273	0.4185		
6	50	925.56	0.2949		2.273	0.4161		
7	40	951.33	0.2764		2.273	0.414		
8	30	962	0.2579		2.273	0.4125		
9	20	964	0.2237		2.273	0.409		
10	10	972.67	0.1850		2.273	0.4105		
11	0	1013.78	0.1362		2.273	0.4109		



## **Punë laboratori Nr. 6.2**

**Tema: Vlerësimi i energjisë sipërfaqore dhe komponentëve polare dhe dispersive të PMMA nëpërmjet matjes së këndit të kontaktit sipas teknikës së pikës ngjitur. (Sessile drop)**

Mjetet e punës:

Tensiometër DSA-100 - Kruess, tretësira ujore të etanolit me përqëndrime 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M, 4 M, Sipërfaqe prej Tefloni (PTFE), Sipërfaqe prej PoliMetilMetAkrilati (PMMA)

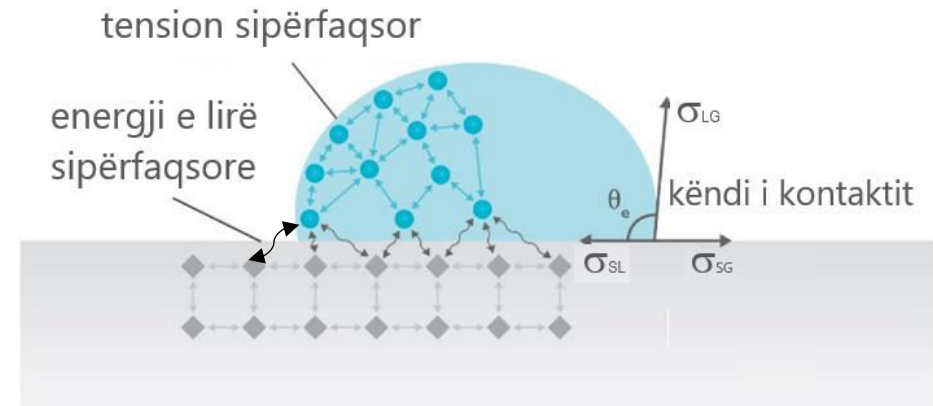
Njohuri teorike mbi këndin e kontaktit dhe  
tensionin ndërfaqor

<https://www.youtube.com/watch?v=jiEKUi42r1I>

# Ekuacioni i Jang (Young)

Kur një lëng bie në kontakt me një trup të ngurtë rrethuar nga një fazë e gaztë, sipas ekuacionit të Young, ekziston lidhja e mëposhtme midis këndit të kontaktit  $\theta$ , tensionit sipërfaqësor të lëngut  $\sigma_{lg}$ , tensionit ndërfaqor  $\sigma_{sl}$  midis lëngut dhe të ngurtës dhe sipërfaqes energji të lirë  $\sigma_{sg}$  të lëndës së ngurtë

$$\sigma_{sg} = \sigma_{sl} + \sigma_{lg} \cdot \cos\theta$$



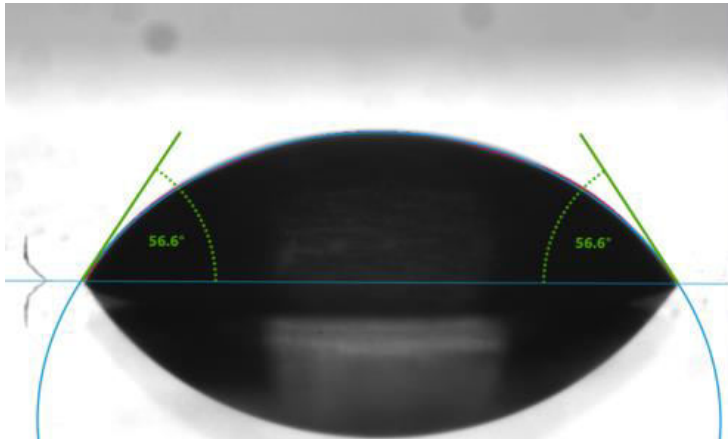
Ekuacioni është i vlefshëm për sistemet trefazore në ekuilibër termodinamik ndërmjet një sipërfaqeje të ngurtë ideale (të lëmuara dhe homogjene kimikisht) dhe lëngjeve të pastra. Ai është baza e të gjitha modeleve për përcaktimin e energjisë së lirë të sipërfaqeve të ngurta me anë të matjeve të këndit të kontaktit.

# Pika ngjitur (Sessile drop)

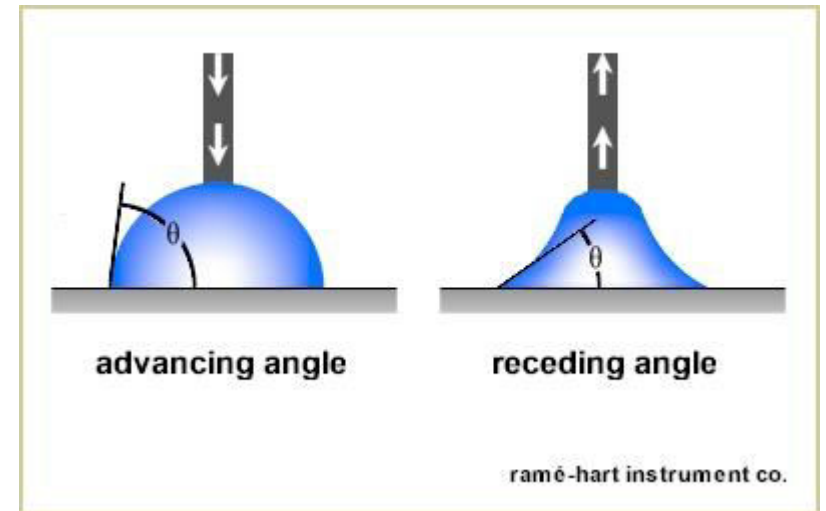
*Pika ngjitur është konfigurimi standard për matjen optike të këndit të kontaktit duke përdorur analizën e formës së pikës.*

Në rastin e **këndit statik të kontaktit**, pika e depozituar qëndron palëvizur mbi sipërfaqen e trupit të ngurtë.

Në rastin e **këndit dinamik të kontaktit**, përmasa e pikës fillimisht rritet (**këndi i tërheqjes**) dhe më pas zvogëlohet (**këndi i rrjedhjes**) gjatë matjeve, nëpërmjet një shiringe të zhytur tek pika, ose duke lëvizur pikën me ndihmën e një tavolinëze lëvizëse.

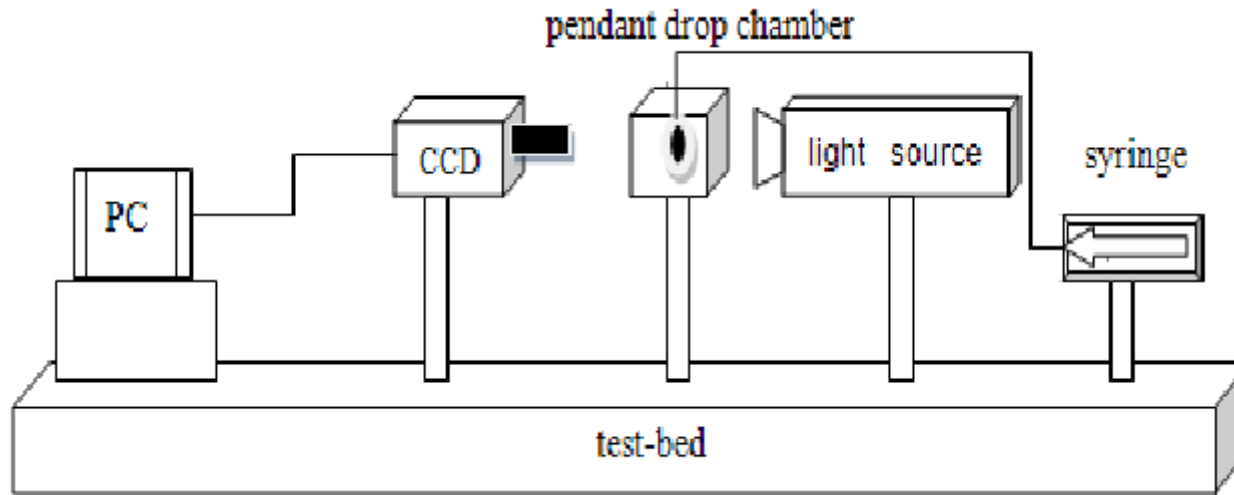


*Pika ngjitur dhe reflektimi i saj mbi një sipërfaqe të ngurtë me të cilën formon këndin statik të kontaktit*



*Pika ngjitur dhe këndet dinamikë të kontaktit të rrjedhjes (majtas) dhe tërheqjes (djathtas)*

# Paraqitja skematike e Tensiometrit Kruess D-10



Prezantim me video i procedurës së matjes së këndit të kontaktit të lëngjeve me një sipërfaqe të ngurtë me teknikën e pikës pezull.

OCA 15 Tutorial - Part I: Instrument Preparation

<https://www.youtube.com/watch?v=8o1NADT6ce8>

OCA15 Tutorial - Part II Sessile drop experiment

<https://www.youtube.com/watch?v=b3f6faw5GBA>

OCA 15 Tutorial - Part III Surface Energy Calculation

<https://www.youtube.com/watch?v=XVEoUMeY9Go>

<https://www.youtube.com/watch?v=4uJRGeXoYQw>

## Përshkrimi i eksperimentit:

1. Prgatiten 6 tretësira të etanolit në ujë me përqëndrimet 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M.
2. Mbushet shiringa me tretësirën përkatëse dhe përcaktohet tensioni sipërfaqësor i tretësirës me teknikën e pikës pezull (Pendant drop) në tensiometrin DSA-100 të prodhuesit Kruess GmbH.
3. Përcaktohet nëpërmjet teknikës “fitting” vlera e faktorit të formës  $\beta$  që përshkruan më mirë profilin e pikës pezull për ujin, etanolin dhe përzjerjet e tyre.
4. Përcaktohet diametri maksimal  $d_e$  dhe  $d_s$  nga imazhi i profilit të pikës pezull për ujin, etanolin dhe përzjerjet e tyre.



# Paraqitja e matjeve dhe rezultateve

1. Paraqitni vlerat e matjeve të  $S = ds/de$  sipas metodes 1 në një tabelë, gjeni nga tabelat vlerën e parametrin të formës H, llogarisni vlerën e tensionit sipërfaqësor për ujin, etanolin dhe cdo përzjerje.
2. Paraqitni vlerat e matjeve të  $\beta$  sipas metodës 2 “fitting” në një tabelë dhe llogarisni vlerën e tensionit sipërfaqësor për ujin, etanolin dhe cdo përzjerje.
3. Ndërtoni në një grafik varësinë e tensionit sipërfaqësor të përzjerjeve ujë-etanol nga përqëndimi në vëllim i etanolit.
4. Jepni konkluzionet tuaja duke krahasuar saktësinë e përcaktimit të tensionit sipërfaqësor me secilën metodë.

# Imazhe me SEM nga sipërfaqja e Teflonit PTFE

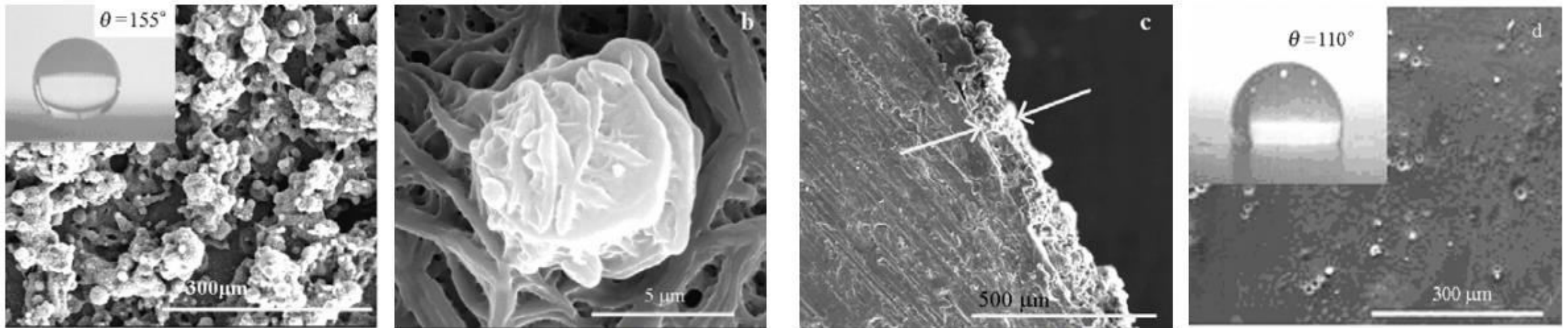


Fig.1 SEM images of superhydrophobic PTFE coating  
(a) SEM image of large-area sprayed PTFE coating; (b) high magnified image of single papilla;  
(c) sectional SEM image of superhydrophobic PTFE coating; (d) SEM image of flat PTFE coating;  $\theta$ : contact angle

Matjet e këndit të kontaktit mbi sipërfaqet e PTFE dhe PMMA, duke përdorur tretësira Ujë - -Etanol në përqëndrime të ndryshme

	Permbajtja			
	Etanol			
Nr.	ne vellim %	Tensioni Sipërfaqësor $\sigma$ (mN/m)	Kendi i kontaktit mbi PTFE	Kendi i kontaktit mbi PMMA
1	100	21.9	37	
2	90	24.1	43	
3	80	25.4	50	
4	70	27.6	57	25
5	50	31.4	64	30
6	20	42.1	85	78
7	10	50.3	95	84
8	0	72.7	105	97

## Literatura:

- Physical Chemistry of Surfaces, 6th Edition, [Arthur W. Adamson](#), [Alice P. Gast](#), ISBN: 978-0-471-14873-9, September 1997. faqe 26 – 30.

## Puna Nr. 7

### Tema: Matja e tensionit sipërfaqësor për disa perzjerje të ndryshme ujë-etanol me teknikën e ngjitjes kapilare dhe teknikën e presionit maksimal të flluskës.

#### Mjetet e punës:

Tretësira ujore të etanolit me përqëndrime 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M, 4 M, kapilar qelqi, aparat i Rebinderit.

#### 1. Teknika e ngjitjes kapilare

Kjo është teknika më e vjetër e përcaktimit të tensionit sipërfaqësor. Një rrjedhojë e shfaqjes së tensionit sipërfaqësor në sipërfaqen ndarëse lëng/gaz është lëvizja për lart e lëngut brenda një tubi të hollë, pra një kapilar, i cili zakonisht është prej qelqi. Ky fenomen është aplikuar për të përcaktuar tensionin sipërfaqësor të lëngjeve.

Për këtë qëllim, një kapilar rrethor zhytet në lëngun që do të testohet. Nëse forcat e bashkëveprimit të lëngut me muret e kapilarit (forcat e adezionit) janë më të forta se ato të bashkëveprimit të molekulave të lëngut me njëra-tjetrën (forcat e kohezionit), lëngu i lag muret dhe ngjitet në kapilar deri në një nivel të caktuar dhe menisku është konkav gjysmësferik. Nëse ndodh e kundërta përse i përket situates së forcave, atëherë shkatohet zbritjen e nivelit të lëngut në kapilar më të ulët se niveli i lëngut në vaskë dhe menisku është gjysmësferik konveks. Të dy rastet janë ilustruar në Fig. 1.

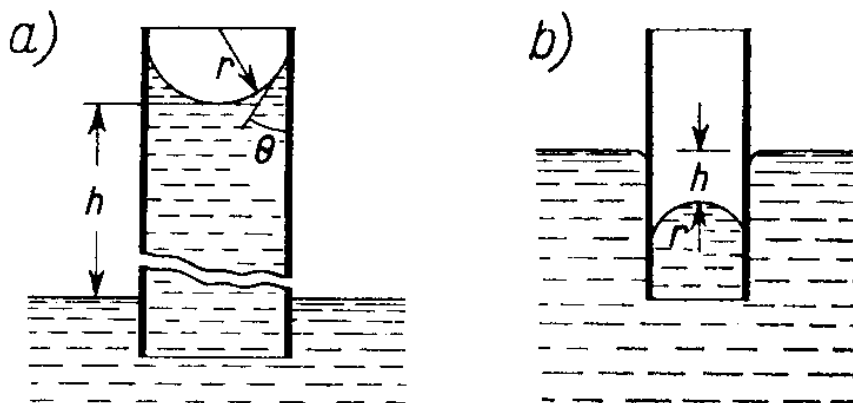


Fig. 1. Paraqitje skematike e teknikës së ngjitjes kapilare.

Nëse sipërfaqja e prerjes tërthore të kapilarit është rrethore, dhe rrezja e tij është mjaftueshëm e vogël, atëherë menisku është në formë gjysëmsferë. Përgjatë perimetrit të meniskut ushtrohet një forcë për shkak të pranisë së tensionit sipërfaqësor.

$$f_1 = 2 \pi r \sigma \cos\theta \quad (1)$$

ku:  $r$  – rrezja e kapilarit,  $\sigma$  – tensioni sipërfaqësor i lëngut,  $\theta$  – këndi i kontaktit të lagies.

Forca  $f_1$  in Ek. (1) është e ekuilibruar nga masa e lëngut të ngjitur në kapilar deri në lartësinë  $h$ , që është forca e rëndesës  $f_2$ . Në rastin e një lëngu që nuk lag – niveli zbritet deri në lartësinë  $-h$ .

$$f_2 = \pi r^2 h d g \quad (2)$$

ku:  $d$  – densiteti i lëngut ( $\text{g/cm}^3$ ) (në fakt diferenca e densiteteve të lëngut dhe gazit),  $g$  – nxitimi i rënies së lirë. Në ekuilibër (lëngu nuk lëviz brenda kapilarit)  $f_1 = f_2$ , dhe kështu;

$$2 \pi r \sigma \cos\theta = \pi r^2 h d g \quad (3)$$

$$\text{ose } r h d g = 2 \sigma \cos\theta \quad (4)$$

Nëse lëngu i lag plotësisht muret e kapilarit, atëherë këndi i kontaktit është  $\theta = 0^\circ$ , and  $\cos\theta = 1$ .

Në këtë rast tensioni sipërfaqësor mund të përcaktohet nga ekuacioni (5).

$$\sigma = r h d g / 2 \quad (5)$$

Nëse lëngu nuk i lag muret e kapilarit (p.sh. mërkuri në një kapilar qelqi), atëherë mund të supozojmë se  $\theta = 180^\circ$ , dhe  $\cos\theta = -1$ . Ndërkaq menisku zbritet me lartësinë  $-h$ , ek. (5) jep një rezultat të saktë.

Ek (5) mund të fitohet edhe nga ekuacioni i Young-Laplace-it  $\Delta P = - 2 \sigma / r$ , nga i cili rezulton ekzistenca e një difference presioni përmes një sipërfaqeje të kurbëzuar, e cila quhet presion kapilar dhe ilustruhet në figurën 12.2.

Në anën konkave të meniskut presioni është  $P_1$ . Ekuilibri mekanik arrihet kur vlerat e presionit janë të njëjta në kapilar dhe mbi sipërfaqen e rrafshët.

Në rastin e një lëngu që lag, presioni në kapilar është më i ulët se jashtë tij, ( $P_2 < P_1$ ). Për këtë arsye menisku shtyhet në një lartësi  $h$  kur diferenca e presionit  $\Delta P = P_2 - P_1$  balancohet nga presioni hidrostatik i shkaktuar nga lëngu që është ngjitur në kapilar.

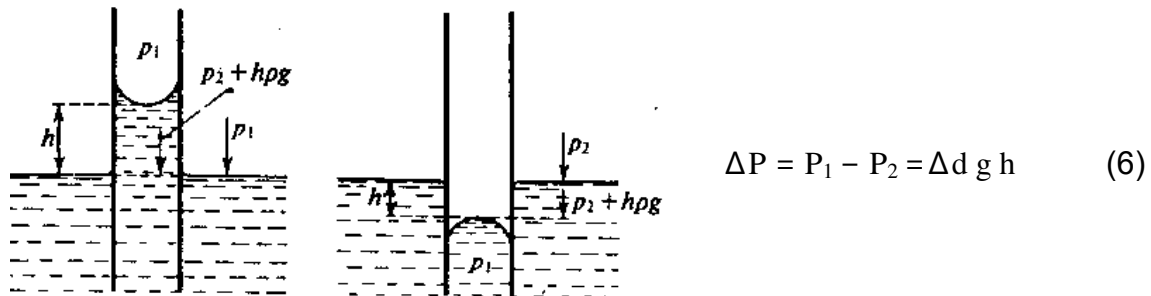


Fig. 12.2. Presioni i ekuilibruar në të dy anët e meniskut.

$$2 \sigma / r = \Delta d g h \quad (7)$$

$$\sigma = r h d g / 2 \quad (8)$$

Konsiderata të ngjashme mund të bëhen për rastin e meniskut konveks (Fig. 12.2)

### TEKNIKA ME PRESIONIN MAKSIMAL TË FLLUSKËS

Kjo teknikë njihet gjithashtu teknika e presionit të flluskës. Në këtë teknikë flluska ajri fryhen me shpejtësi konstante përmes një kapilari që gjendet i zhytur në lëngun të cilit do ti matet tensioni sipërfaqësor. Skema e aparatit të propozuar nga Rebinderi tregohet në figurën 3.

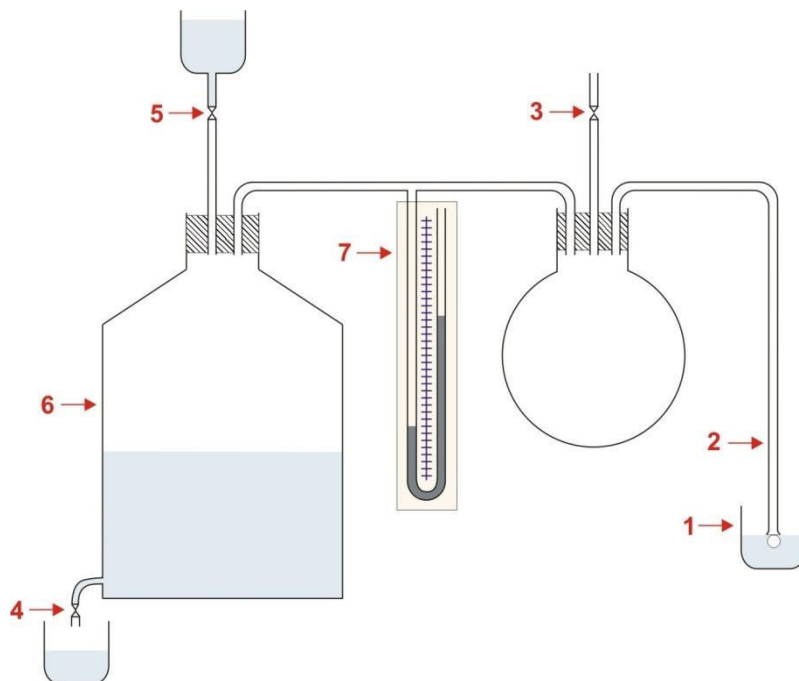
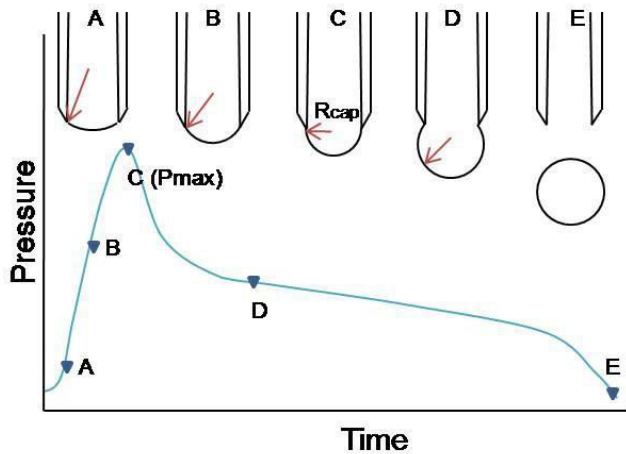


Fig. 3: Scheme of the apparatus for surface tension measurements by the bubble pressure method.

Presioni brenda flluskës së ajrit vjen duke u rritur. Foma e saj është që në fillim sferike por rrezja vjen duke u zvogëluar. Kjo shkakton rritjen e presionit brenda saj dhe presioni bëhet maksimal kur flluska ka një formë gjysëm sferike. Në këtë gjendje rrezja e flluskës barazohet me rrezën e kapilarit, rrezën e brendshme nëse lëngu e lag majën e kapilarit, dhe rrezën e jashtme nëse lëngu nuk e lag majën e kapilarit.



**Fig. 4:** Hapat e njëpasnjëshëm të formimit të flluskës dhe ndryshimit të presionit brenda flluskës ([http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble\\_pressure\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble_pressure_method)).

Figura 4 tregon ndryshimin e rrezes së flluskës në cdo hap të formimit të flluskës. Diferenca maksimale e presionit  $\Delta P_{max}$  përshkruhet nga ekuacioni i Laplasit.

$$\Delta P_{max} = P_1 - P_2 = 2\sigma / R_{cap} \quad (19)$$

Nëse maja e kapilarit zhytet në lëng në një lartësi  $h$  nga sipërfaqja e lëngut, atëherë duhet të përdoret edhe korigjimi i zvogëlimit të  $\Delta P_{max}$ . Korigjimi bëhet për shkak të presionit hidrostatik shtesë që shkaktohet nga shtresa e lëngut me trashësi  $h$ . Presioni që duhet të tejkalojë flluska që shkëputet është  $P_{max} - P_h$ .

Për përcaktim shumë të saktë të tensionit sipërfaqësor, janë të nevojshme edhe korigjime të tjera. Ato mund të gjenden në tabela të vecanta. Përpikmëria e kësaj teknike është disa 0.X % dhe aplikohet për matjen e tensionit sipërfaqësor dhe atij ndërfaqësor.

Përshkrimi i eksperimentit:

- 1- Përgatiten 6 tretësira të etanolit në ujë me përqëndrimet 0.125 M, 0.25 M, 0.5 M, 1 M, 2 M.



- 2- Mbushet hinka e aparatit të Rebinderit me tretësirën përkatëse dhe zhytet maja e kapilarit të qelqit fare pak nën sipërfaqen e lëngut. Rritet presioni gradualisht mbi ajrin në kapilar dhe matet ndryshimi i rrugës që përshkruan lëngu në manometër. Kjo procedurë kryhet fillimisht për ujin e bidistiluar dhe më pas për të gjitha tretësit ujë-etanol të paktën 6 herë për secilën tretësirë.
- 3- Për ujin e bidistiluar dhe për secilën tretësirë etanol – ujë përcaktohet lartësia e ngjitjes së lëngut në kapilar të paktën 6 herë për secilën tretësirë.
- 4- Llogarisni tensionin sipërfaqësor për secilën tretësirë etanol – ujë nëpërmjet teknikës së presionit maksimal të fluskës, dhe paraqitini së bashku me vlerat e matjeve dhe gabimin në një tabelë.
- 5- Llogarisni tensionin sipërfaqësor për secilën tretësirë etanol – ujë nëpërmjet teknikës së ngjitjes kapilare dhe paraqitini së bashku me vlerat e matjeve dhe gabimin në një tabelë.
- 6- Diskutoni ndryshimet eventuale midis rezultateve të llogaritura me të dy teknikat.

Literatura:

1. Kimia e Dukurive Sipërfaqësore dhe Koloidale, Vëllimi 1, faqe ???
2. **Physical Chemistry of Surfaces, 6th Edition, Arthur W. Adamson, Alice P. Gast, ISBN: 978-0-471-14873-9, September 1997.**

## **Punë laborator Nr. 8**

**Tema: Përcaktimi i këndit të kontaktit në kufirin lëng/i ngurtë tek pluhurat me teknikën e ngjitjes në shtresë të hollë (Wicking)**

# Baza teorike

Llogaritja e përgjithshme e shtypjes së Laplasit dhe për një lëng i cili penetron nëpër pore me rreze  $R$  dhe që shfaq këndin e kontaktit  $\theta$ , presioni i Laplasit është:

$$\Delta P = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \qquad \Delta P = \frac{2 * \sigma * \cos \theta}{R}$$

Duke e kombinuar me ekuacionin e Poiseuille për rrjedhjen përmes një tubi cilindrik një lëng i cili penetron nëpër pore me rreze  $R$  dhe që shfaq këndin e kontaktit  $\theta$ , presioni i Laplasit është:

Washburn përshkruan shkallën (shpejtësinë e ngjitjes)  $V$  të lëngjeve në kapilaret e substancës së ngurtë duke i konsideruar grimcat në trajtën e një cilindri:

$$V = \frac{R^2 \Delta P}{8\eta l} \quad (1)$$

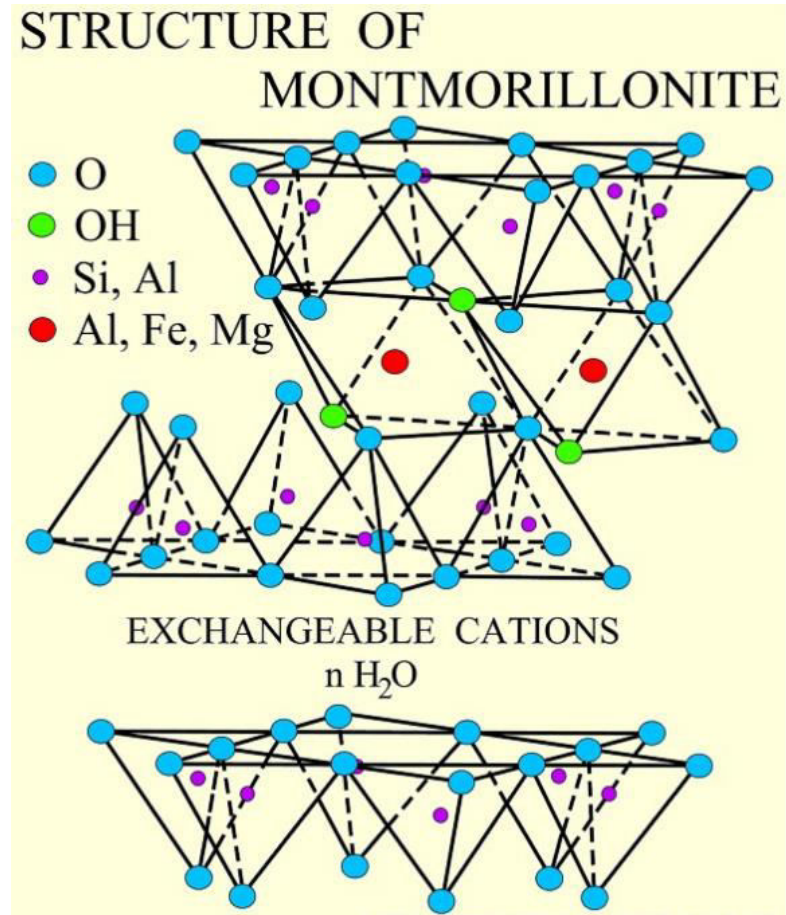
Sipas ekuacionit të Washburn,  $v$  është kinetika e ngjitjes / rrjedhjes,  $R$  nënkupton rrezën hidrodinamike të kapilarit,  $\eta$  viskozitetin e lëngut,  $l$  lartësia e ngjitjes në kapilar dhe  $\Delta P$  diferenca e presioneve.  $\Delta P$  mund të shprehet dhe si presioni kapilar. Ky ekuacion mund të rishkruhet në një formë më të thjeshtë:

$$h^2 = \frac{R \sigma \cos \theta}{2\eta} t \quad (2)$$

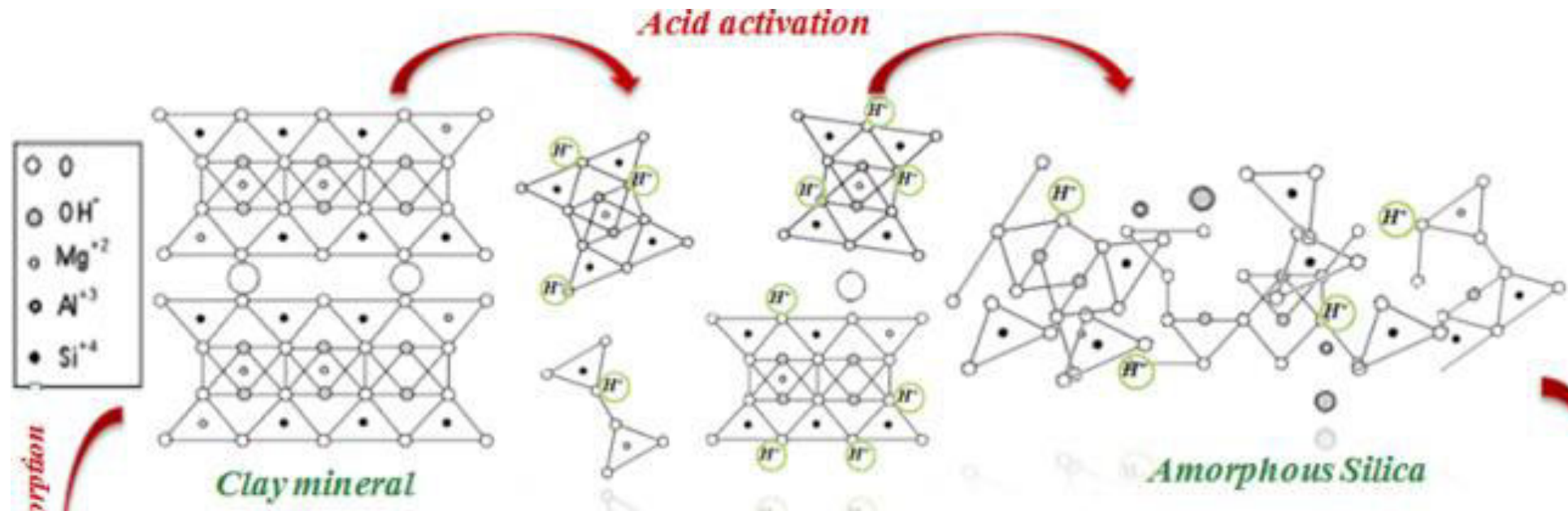
# Eksperiment i thjeshte Wicking

- <https://www.youtube.com/watch?v=yO7ABxj5sLg>

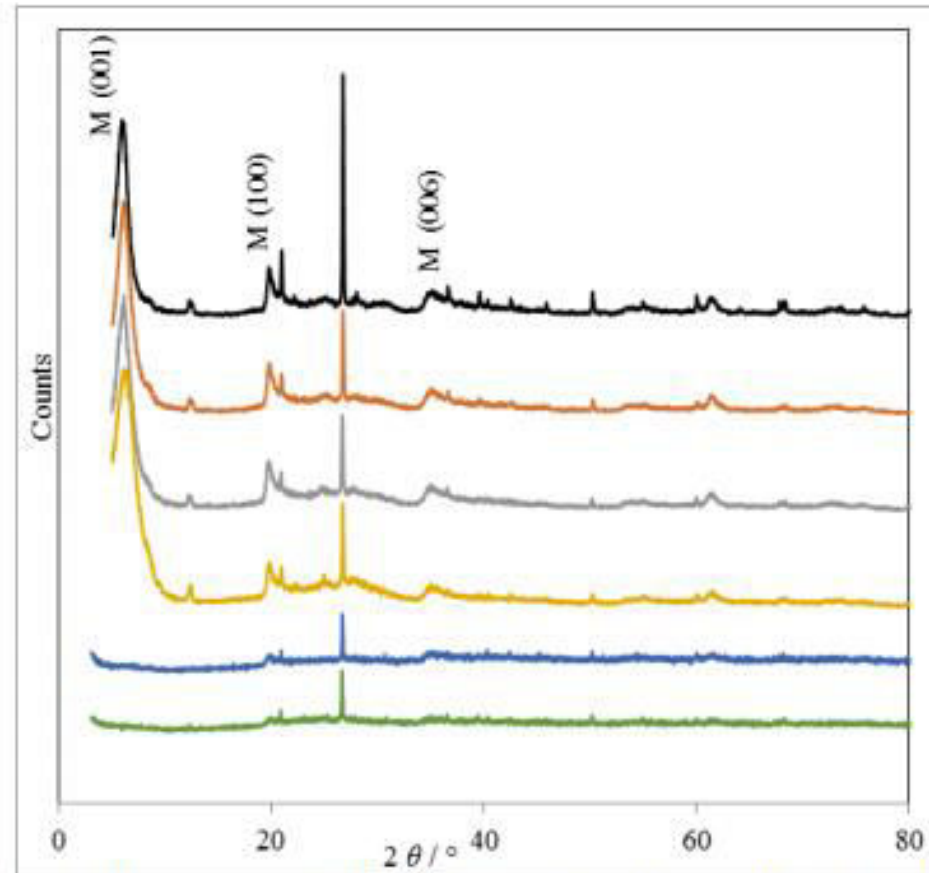
# Struktura e argjilës së Prrenjasit



# Ndryshimet në nivel molekular gjatë trajtimit me acid të argjilave bentonite



Difraktogramat me rreze X të argjilave të Prrenjasit pas trajtimit me acid sulfurik në përqëndrime të ndryshme



*Figure 2. XRD diagrams of untreated Prrenjas clay mineral (top) and P/0.143, P/0.371, P/0.734, P/0.927 and P/1.456 M respectively in the top-down order. The letter M is for identifying the montmorillonite peaks, the peak at  $2\theta=26^\circ$  belongs to quartz impurities.*

# Spektrat IR të argjilave të Prrenjasit pas trajtimit me acid sulfurik në përqëndrime të ndryshme

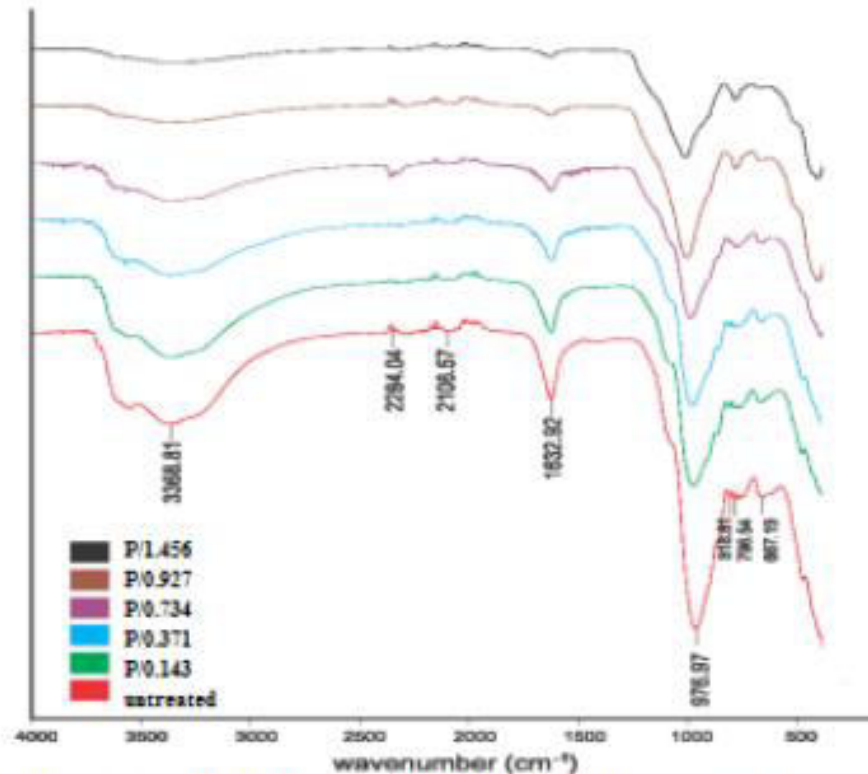
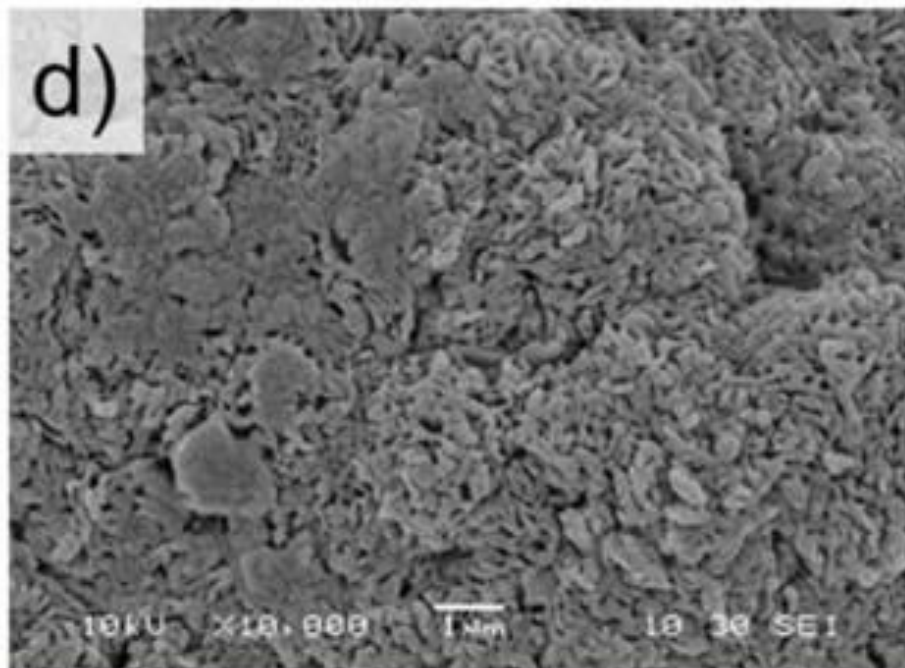
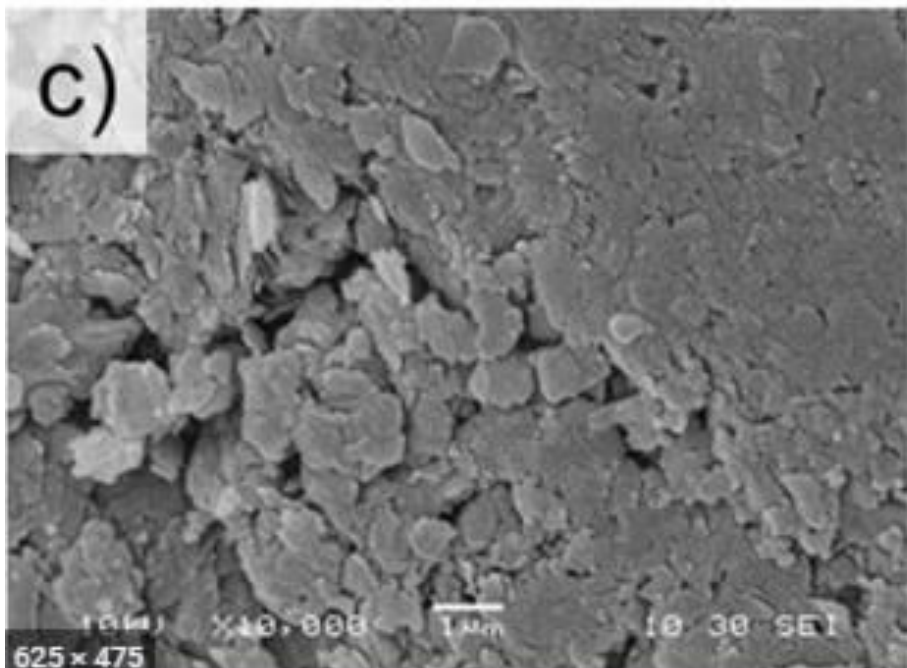
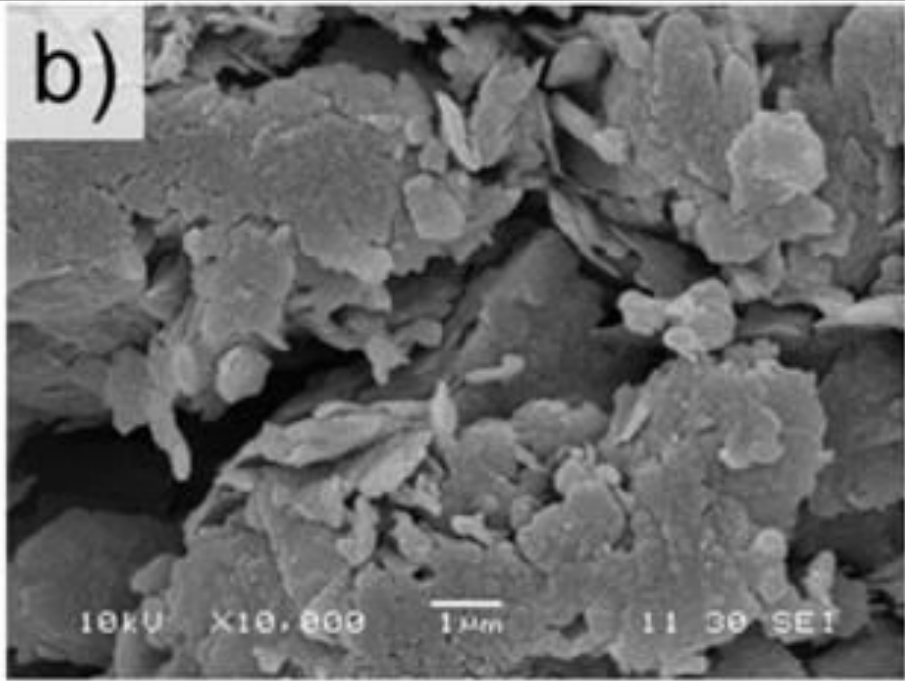
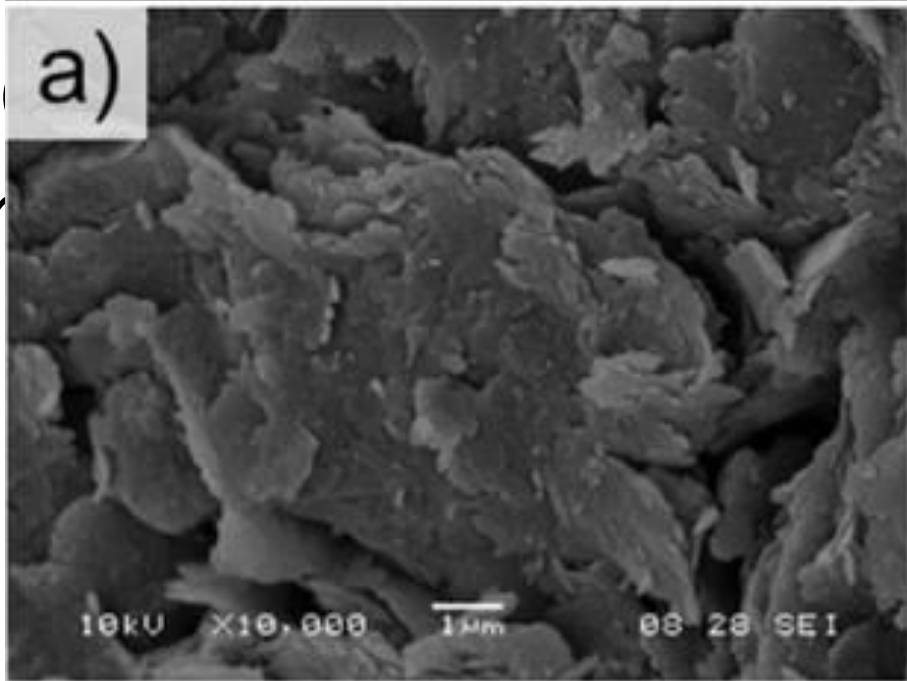


Figure 3. FT-IR spectra of the untreated (down) and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> treated Prrenjas clay mineral P/0.143, P/0.371, P/0.734, P/0.927, P/1.456 M respectively in the down-top order.



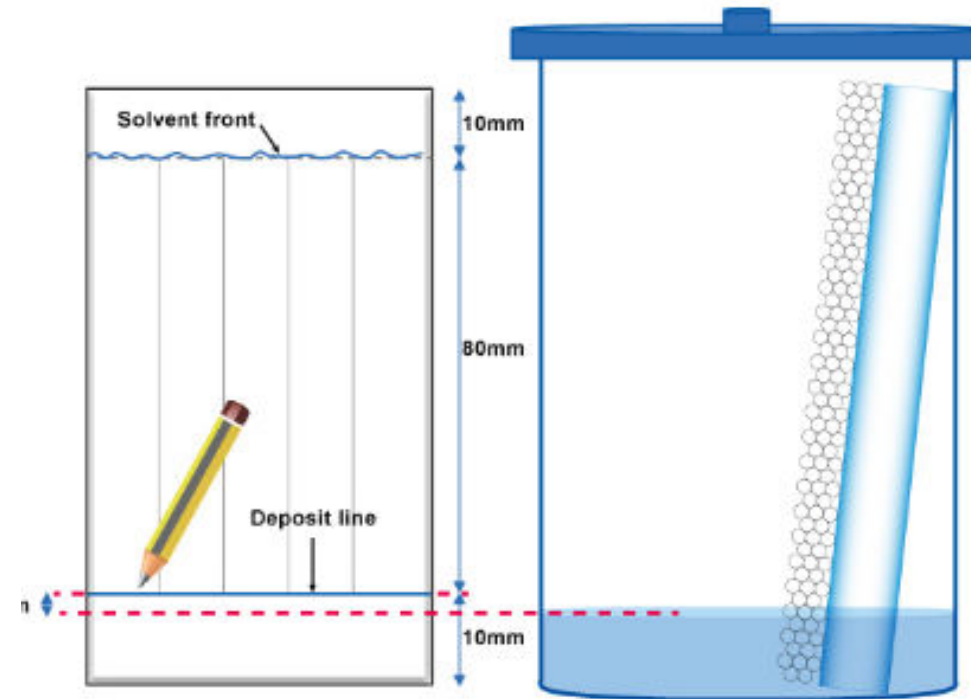
N  
Pr



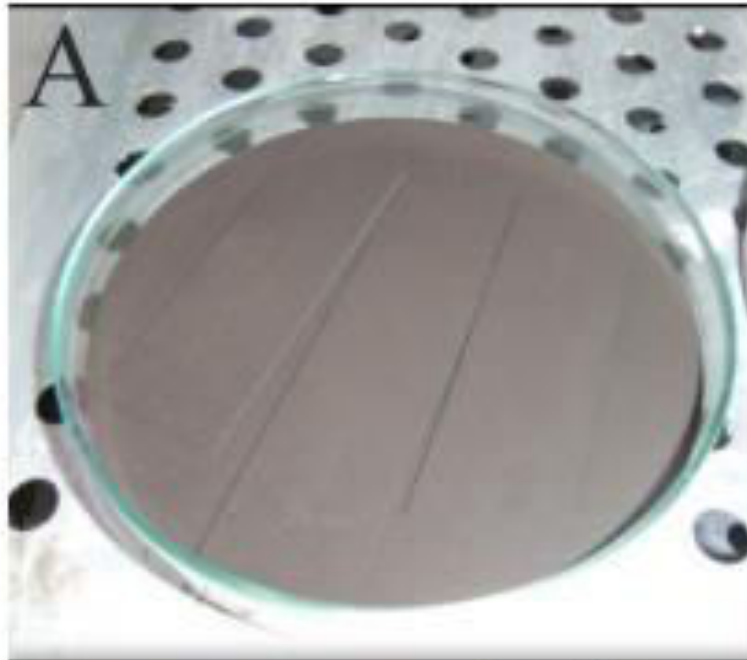
# Aplikime të substancave hidrofobike/hidrofilike në tekstile

- <https://www.youtube.com/watch?v=QBlo6zblxhw>
- <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=y6y0sGvhf6g>

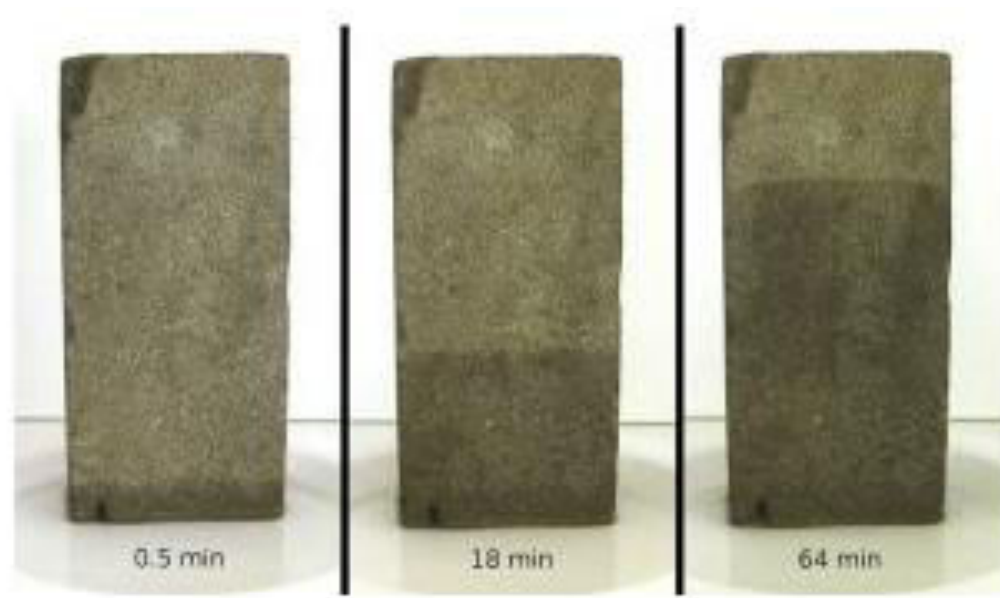
# Paraqitja skematike e aparaturës që përdoret



Pregat  
aregjil



# Ngjitja në pllakën e veshur me argjilë Prrenjasi



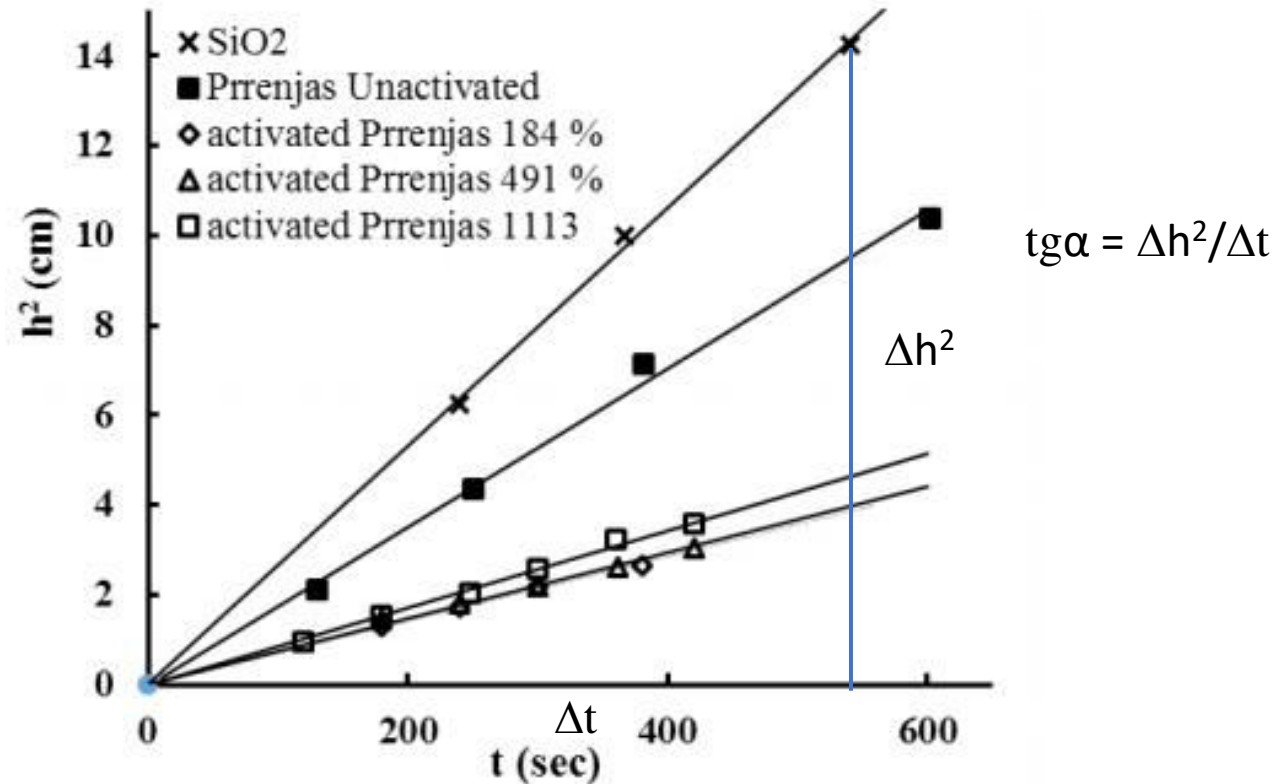
$$h^2 = \frac{R \sigma \cos \theta}{2\eta} t$$

Në ekuacionin e mësipërm ku  $h$  është lartësia e ngjitjes së lëngut në kohën  $t$ , ka një problem të rëndësishëm që paraqitet nga prania e dy parametrave të panjohur në këtë ekuacion ( $R$  dhe  $\cos \theta$ ). Vështirësi e cila është mënjeluar duke përdorur një lëng, i cili gjatë ngjitjes në materialin e ngurtë pritet që të formojë këndin e kontaktit  $\cos \theta = 1$ , për këtë është përdorur metanoli, i cili ka aftësinë që të lagë plotësisht sipërfaqen e materialit, pa formuar një kënd kontakti. Rrjedhimisht, vlera e  $R_D$  përftohet nga disa zëvendësime në formulë dhe mund të përdoret tashmë si konstante dhe për përcaktimin e këndit të kontaktit  $\cos \theta$  që lëngjet e tjera do të formojnë me materialet e ngurta.

$\frac{R \sigma \cos \theta}{2\eta}$  - koeficienti këndor në varësinë lineare të  $h$  ndaj  $t$  ose  $\frac{R \sigma}{2\eta}$  për rastin e metanolit



# Përcaktimi i koeficientit këndor në varësinë $h^2$ ndaj $t$



Për rastin e Wicking të metanolit kemi  $\text{tg}\alpha_{\text{Met}} = \Delta h^2 / \Delta t = \frac{R \sigma}{2\eta}$  prej ku përcaktojmë  $R$

Për rastin e Wicking të ujit kemi  $\text{tg}\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = \Delta h^2 / \Delta t = \frac{R \sigma \cos\theta}{2\eta}$  prej ku përcaktojmë  $\theta$

# REZULTATET

## REZULTATET E MATJEVE TE NGJITJES SE METANOLIT DHE UJIT NE SHITRESEN E HOLLE TE ARGJILES SE PRRENJASIT NATYRALE DHE TE AKTIVIZUAR ME ACID SULFURIK 100%

### METANOL

Argj Perrenjasi natyrale	h <sup>2</sup>	5.0	9.0	13.3	18.0	23.7	
	t	148.3	248	352	482.8	651.7	

Argj Perrenjasi e aktivizuar me ac sulfurik 100%	h <sup>2</sup>	4.5	6.0	9.5	12.3	15.0	22.2
	t	89.66	121	183	258.6	303.4	431.03

### UJË

Argj.e Perrenjasit natyrale	h <sup>2</sup> (cm)	2.1	4.3	7.1	10.4		
	t ( sek)	128	250	377.3	599		

Argj Perrenjasi e aktivizuar me ac sulfurik 100%	h <sup>2</sup> (cm)	1.0	1.6	2.0	2.6	3.2	3.5
	t ( sek)	119	179	246.8	298	357	417