

**Дәріс № 5.**  
**ДЫМҚЫЛДАҒЫШТЫҚ**  
**ЖӘНЕ**  
**КАПИЛЛЯРЛЫ ҚЫСЫМ**

# БЕТТІК КЕРІЛУ

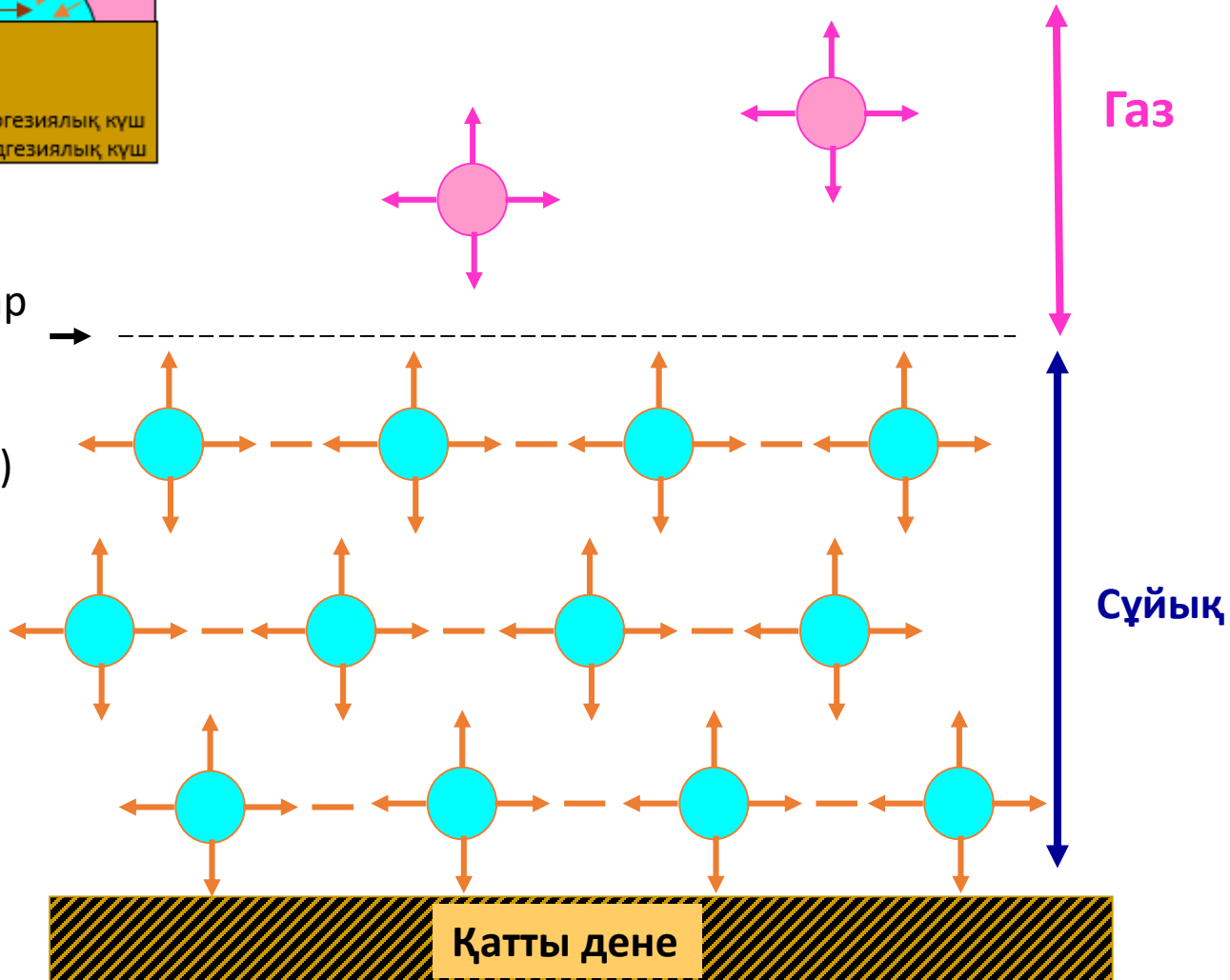
**Беттік керілу** кернеуі дегеніміз - фазалар арасындағы беттегі бірлік ауданға келетін энергия (бірлік қашықтыққа келетін күш),  $\text{мН/м}$

# Фазааралық керілу

- фазааралық бетте молекулааралық күштердің балансының бұзылуы
- шекара минималды өлшемге дейін кішірейеді
- когезиялық күш (cohesive) & адгезиялық күш (adhesion forces)



Молекулалар  
интерфейсы  
(күштердің  
дисбалансы)



# ДЫМҚЫЛДАҒЫШТЫҚ

- **Дымқылдағыштық** - бұл сұйықтықтың қатты бетке жайылу немесе жабысу үрдісі.
- **Дымқылдағыштық** сұйық және қатты фазалардың өзара әрекеттесуін білдіреді.
- Резервуар жыныстары (құмтас, әктас, доломит және т.б.) қатты беттер болып табылады
- Мұнай, су және / немесе газ - бұл сұйықтық

# Адгезиялық керілу

Адгезиялық керілу екі түрлі сұйықтың қатты денемен фазааралық керілуінің айырмашылығы ретінде сипатталады

$$A_T = \sigma_{so} - \sigma_{sw} = \sigma_{wo} \cos \theta_{wo}$$

Оң адгезиялық керілу, тығыз фазаның (судың) қатты бетті ылғалдандыратындығын көрсетеді (және керісінше).

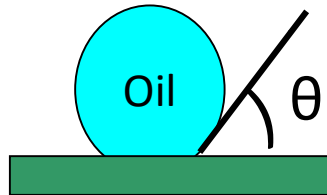
Нольдік адгезиялық керілу екі фазаның да қатты бетке әсерінің бірдей екендігін көрсетеді

# КЕН ДЫМҚЫЛДАНҒЫШТЫҒЫ

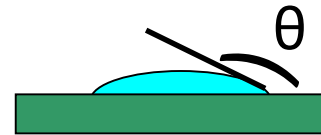
## Негізгі түсініктер

Сұйықтың дымқылдағыштығы сұйық тамшысының горизонталь бетпен жанасу бұрышы арқылы анықталады. Бет пен сұйықтың қасиетіне байланысты тамшы төменде көрсетілгендей әр түрлі пішінге ие болады.

“Сүмен дымқылданатын”

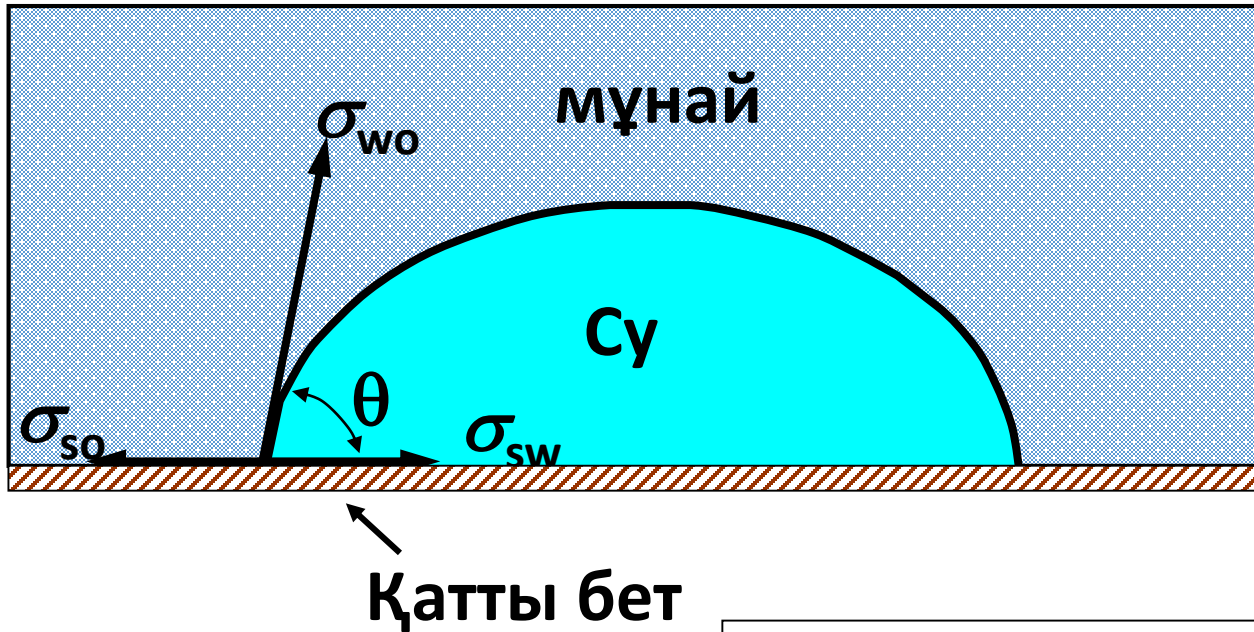


“Мұнаймен дымқылданатын”



$\theta$  бұрышы **жанасу бұрышы** деп аталады. Егер  $\theta < 75^\circ$  резервуар кені **water wet** деп сипатталады, ал егер  $\theta > 90$  **oil wet** болады.

# Жанасу бұрышы



Жанасу бұрышы,  $\theta$ , қандай сұйықтық қатты бетті ылғалдайтынын анықтайды

$A_T$  = адгезиялық керілу, мН/м

$\theta$  = жанасу бұрышы

$\sigma_{so}$  = мұнай мен қатты бет арасындағы фазааралық керілу, мН/м

$\sigma_{sw}$  = қатты бет пен су арасындағы фазааралық керілу, миллиНьютон/м

$\sigma_{wo}$  = Су мен мұнай арасындағы фазааралық керілу, мН/м

# ЫЛҒАЛДАНДЫРУШЫ СҰЙЫҚТЫҚ

- Ылғалдандырушы сұйықтық қатты жыныстың бетін ылғалдандырады.
- Тау жынысы мен сұйықтық арасындағы тартылыс күштері ылғалдандырушы фазаны ұсақ кеуектерге қарай ығыстырады (draw the wetting phase into small pores).
- Ылғалдандырушы сұйықтықтың жылжымалылығы (мобильділігі) көбінесе төмен болып келеді.
- Тарту күштері ылғалдандырушы фазасының қанықтылығын азайтылмайтын мәнге дейін төмендеуін шектейді (төмендетілмейтін ылғалдану фазасының қанығуы).



# ЫЛҒАЛДАНДЫРМАЙТЫН СҰЙЫҚТЫҚ

- Ылғалдамайтын сұйықтың қатты жыныстың бетін дымқылдамайды
- Тау жынысы мен сұйықтық арасындағы тебуші күштер ылғалдандырмайтын сұйықтың ең үлкен кеуектерді алып жатуына әкеледі
- Ылғалдандырмайтын сұйықтық көбінесе жылжымалы сұйықтық болып табылады
- Табиғи газ көмірсутекті резервуарларда ешқашан ылғалдандырушы фаза болып табылмайды

# СУМЕН ЫЛҒАЛДАНУШЫ РЕЗЕРВУАР (WATER-WET)

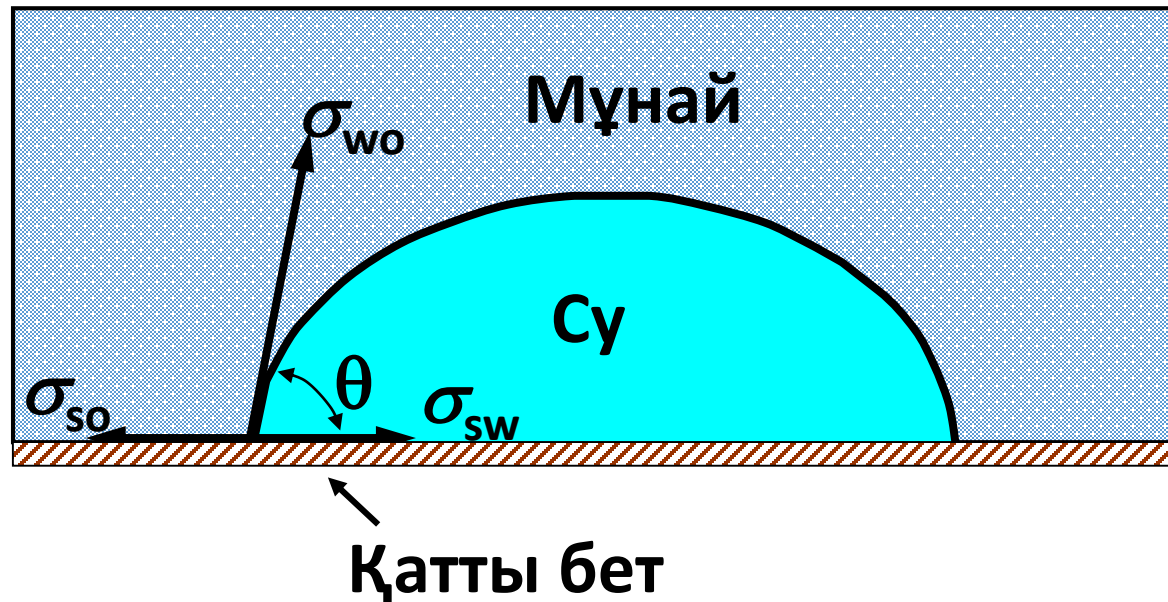
Егер су жыныстың бетін ылғалдандырса, резервуарлы жыныс - **сумен ылғалданушы** (water - wet ) болады.

Егер келесі шарт орындалса, резервуарлы жыныс - **сумен ылғалданушы** болады:

- $\sigma_{so} > \sigma_{sw}$
- $A_T > 0$  (яғни адгезиялық керілу оң шама)
- $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

Егер  $\theta$  жанасу бұрышы  $0^\circ$  қа жуық болса, онда қатты жыныс “**қатаң түрде сумен ылғалданушы**” деп қарастырылады.

# СУМЕН ЫЛҒАЛДАНУШЫ ЖЫНЫС



$$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Тау жынысы мен су арасындағы фазааралық керілу тау жынысы мен мұнай арасындағы фазааралық керілуге қарағанда аз

$$\sigma_{so} > \sigma_{sw}$$

# МҰНАЙМЕН ЫЛҒАЛДАНУШЫ РЕЗЕРВУАР (OIL-WET)

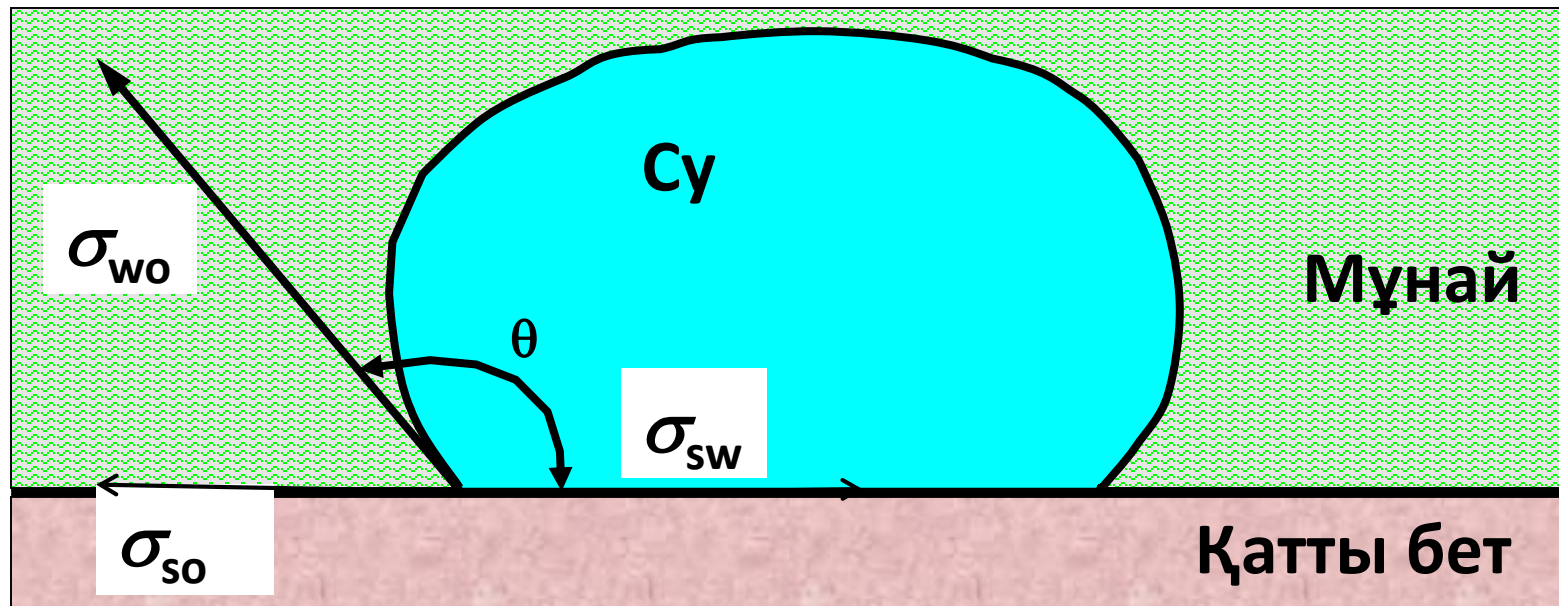
Егер мұнай қатты жыныс бетін ылғалдандырса, резервуар **мұнаймен ылғалданушы** болады.

Келесі шарттар орындалса резервуар **мұнаймен ылғалданушы** болады:

- $\sigma_{so} < \sigma_{sw}$
- $A_T < 0$  (яғни адгезиялық керілу теріс шама)
- $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

Егер  $\theta$  жанасу бұрышы  $180^\circ$  қа жуық болса, онда қатты жыныс “**қатаң түрде мұнаймен ылғалданушы**” деп қарастырылады

# МҰНАЙМЕН ЫЛҒАЛДАНУШЫ ЖЫНЫС



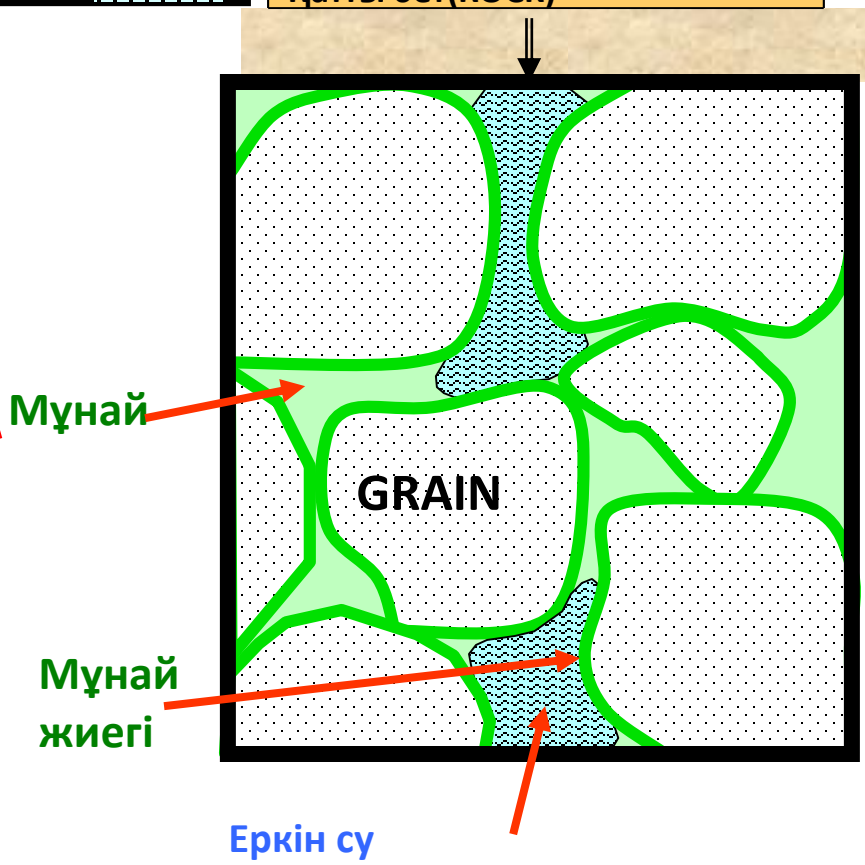
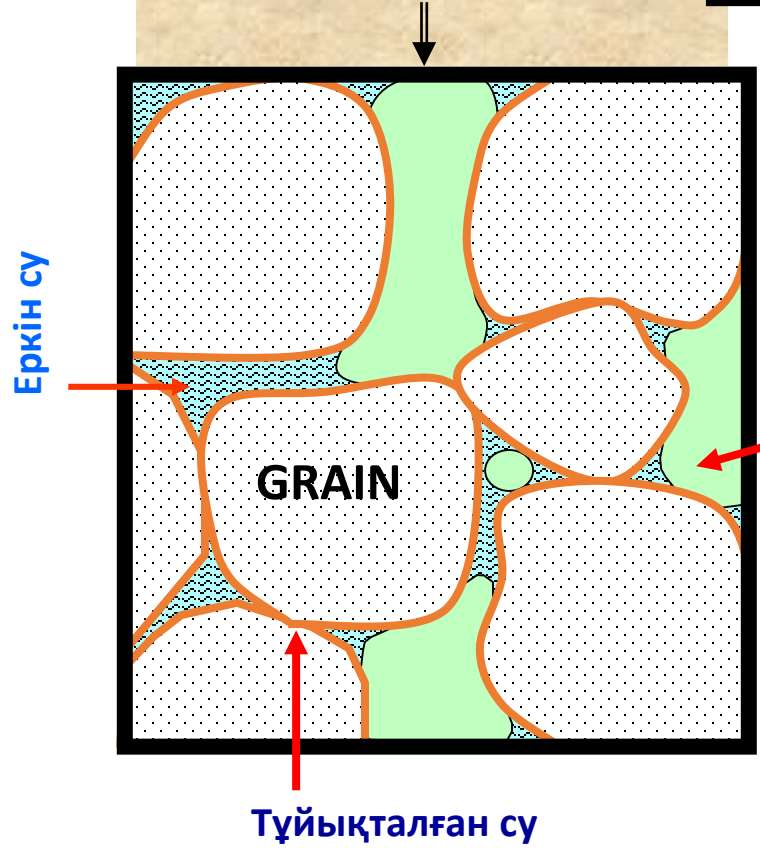
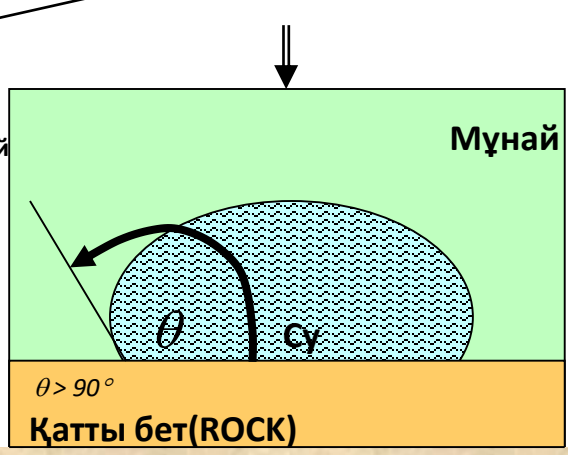
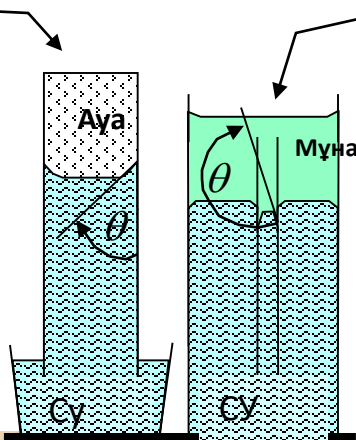
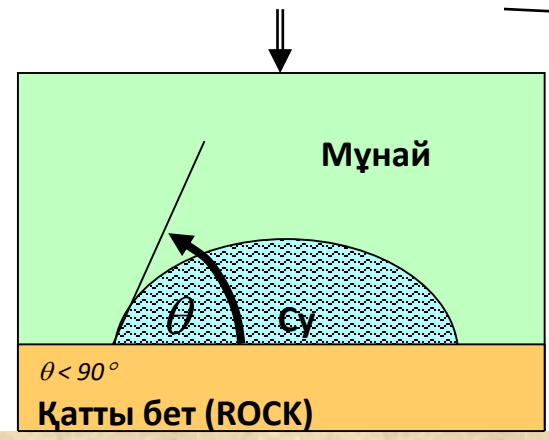
$$90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$$

Тау жынысы мен мұнай арасындағы фазааралық керілу тау жынысы мен судың арасындағы фазааралық керілуден аз

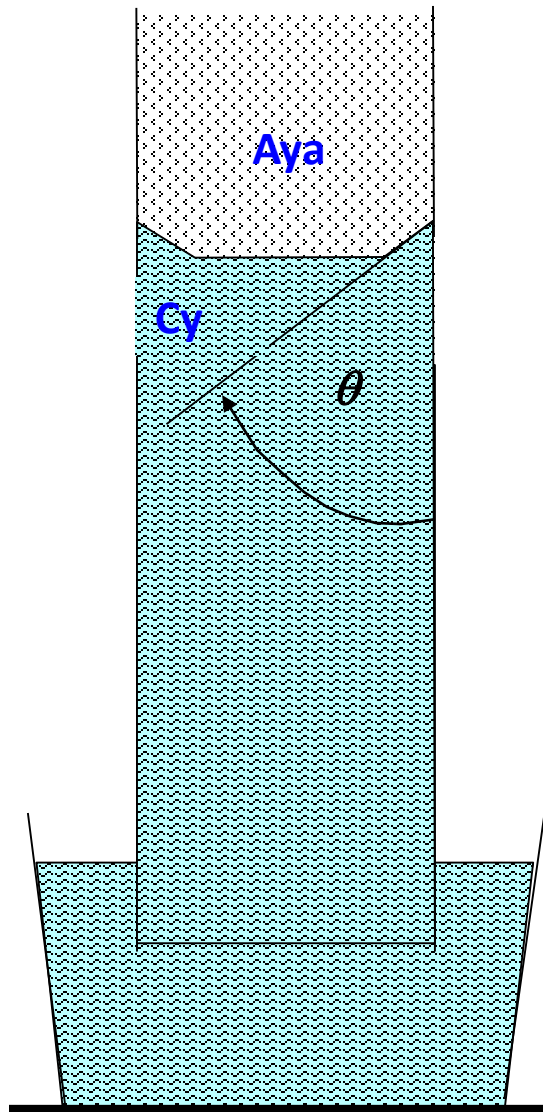
$$\sigma_{so} < \sigma_{sw}$$

**Сумен дымқылданатын**

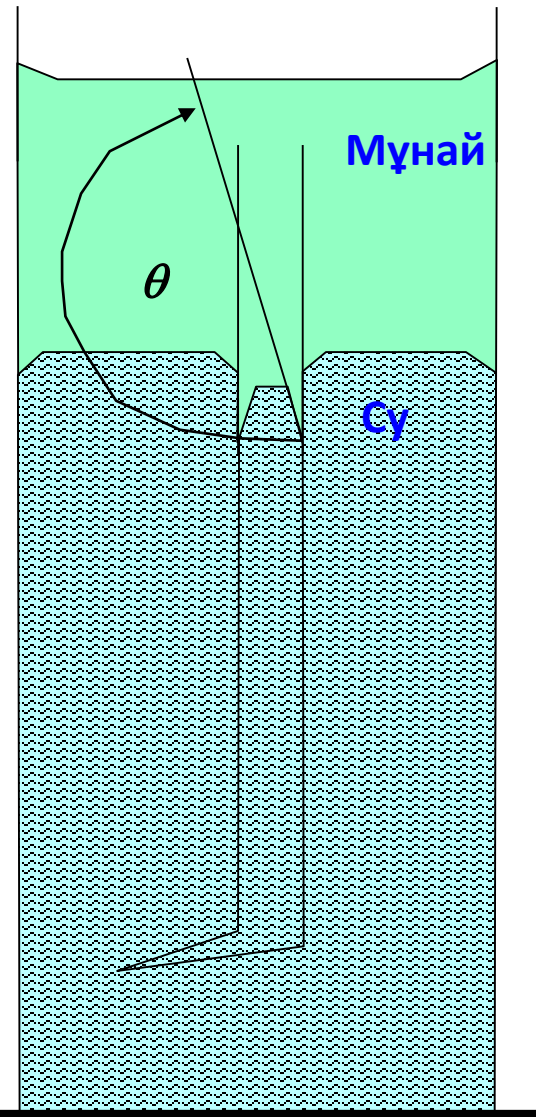
**Мұнаймен дымқылданатын**



**Сумен  
ылғалданатын**

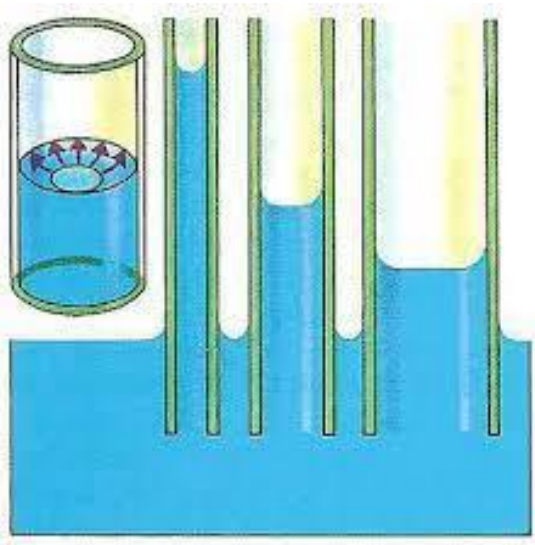


**Мұнаймен  
ылғалданатын**

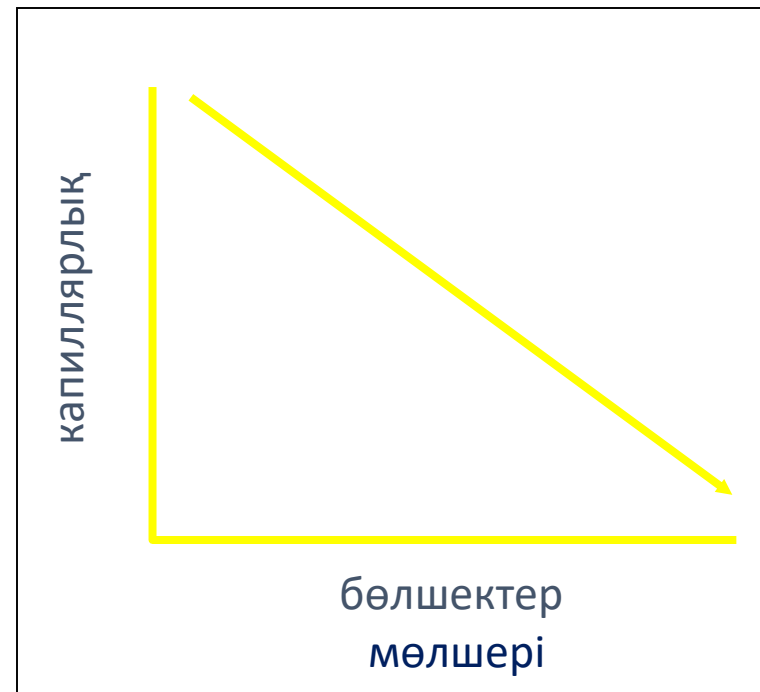


# Капиллярлық эффект

Капиллярлық эффект - су түтікшенің қабырғасына жабысу арқылы көтеріледі.

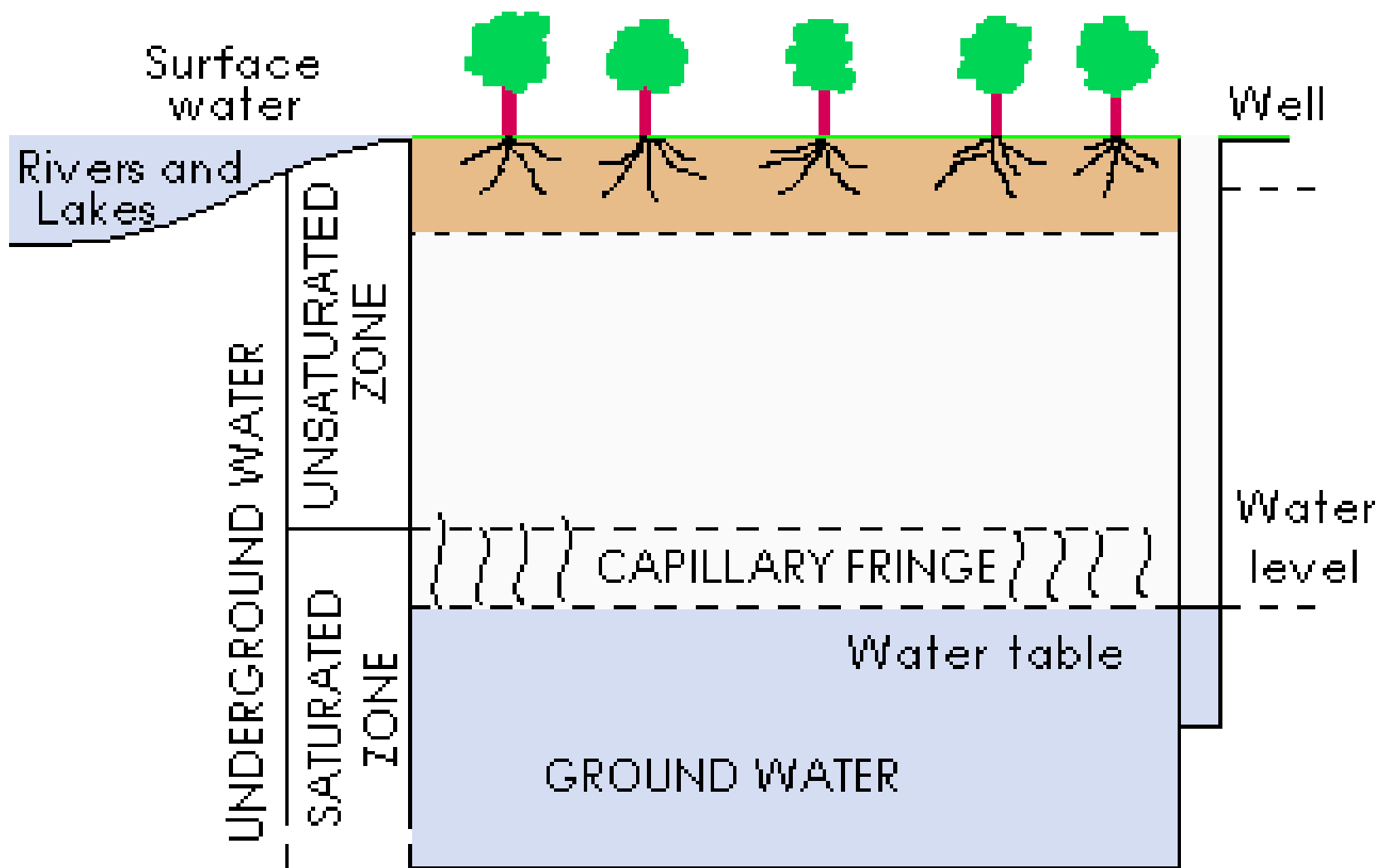


Бөлшектер мөлшері азайған сайын капиллярлық артады



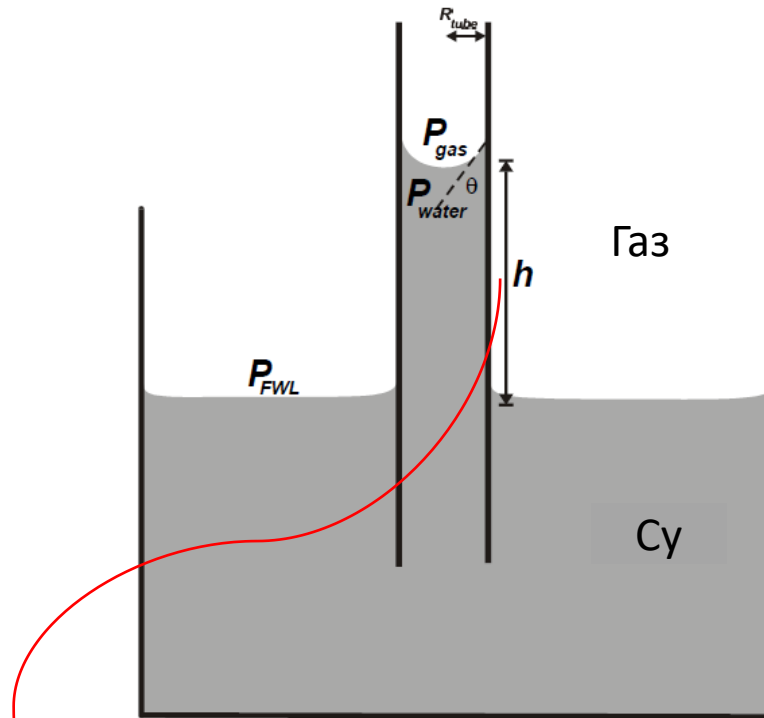


# Капиллярлық эффект табиғатта



Капиллярлық қысым = (суланбайтын фазаның қысымы) - (суланатын фазасының қысымы)

$$p_K = p_{\text{газ}} - p_{\text{су}} = gh(\rho_{\text{су}} - \rho_{\text{газ}})$$



$$h = \frac{p_K}{g(\rho_{\text{су}} - \rho_{\text{газ}})} = \frac{2\sigma \cos\theta}{Rg(\rho_{\text{су}} - \rho_{\text{газ}})}$$

$$p_c = p_{nw} - p_w$$

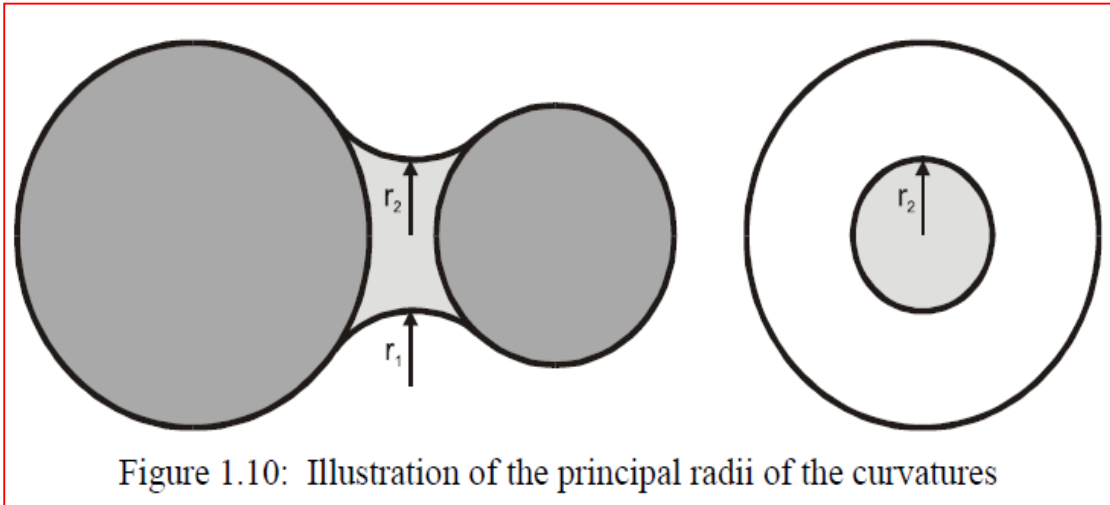


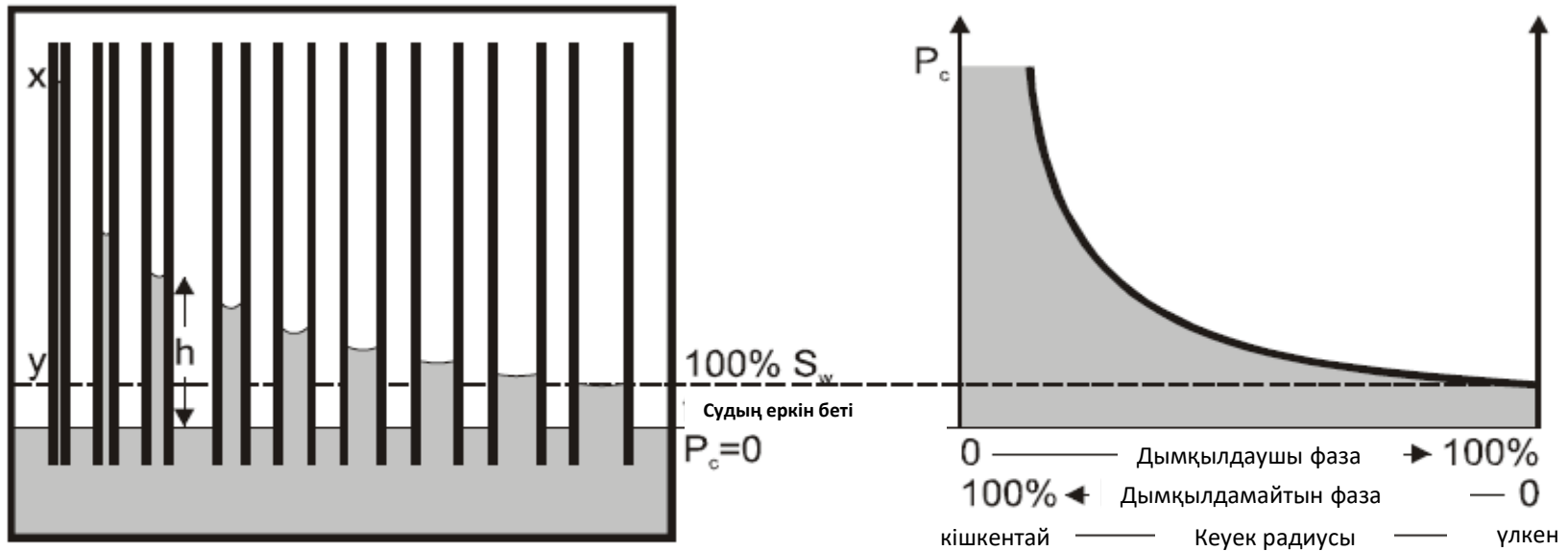
Figure 1.10: Illustration of the principal radii of the curvatures

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{s2} - \sigma_{s1}}{\sigma_{12}}$$

$$\sigma_{s1} + \sigma_{12} \cos \theta = \sigma_{s2}$$

$$P_c = \sigma_{12} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = p_{nw} - p_w$$

$$P_c(S_w) = h(S_w)(\rho_w - \rho_{nw})g,$$



Ауырлық күші мен капиллярлық күштерінің тепе-теңдігі

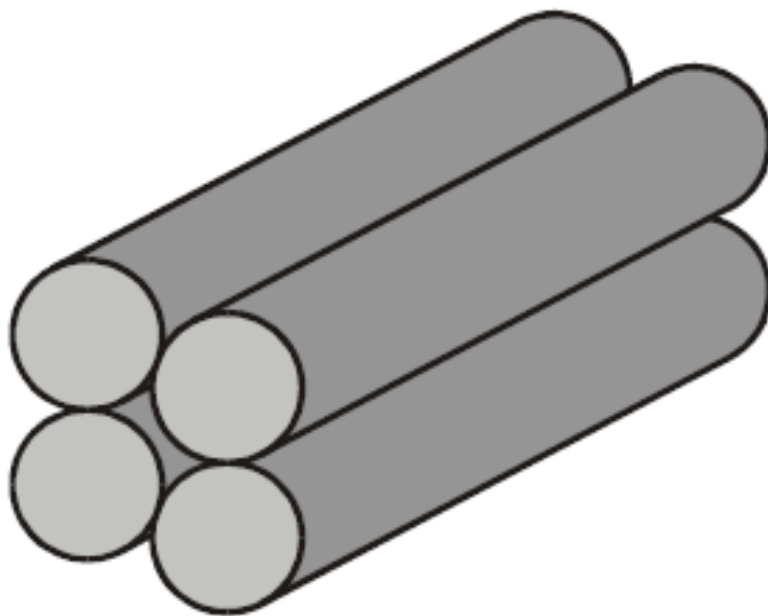
$$h(S_w) = \frac{P_c(S_w)}{(\rho_w - \rho_{nw})g},$$

$$P_c = h(\rho_w - \rho_{nw})g = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}.$$

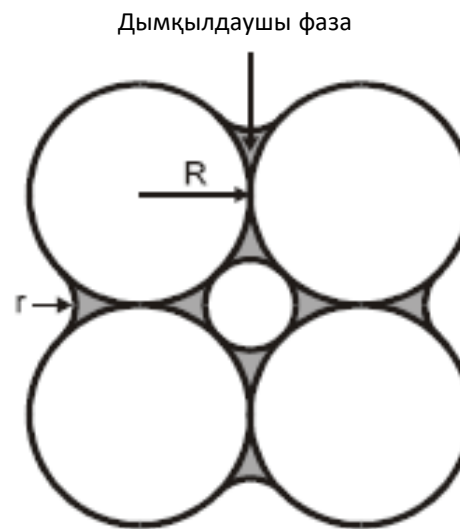
Егер ауа дымқылдамайтын фаза болса, ал су дымқылдаушы фаза болса, онда  $\sigma_{s2} = 0$  және бұдан шығады:  $\sigma_{s1} = \sigma_{s2}$ ,  $\cos \theta = 1$

$$P_c = \frac{\sigma_{12}}{r}$$

Мұндағы  $r=r_1$  ауа мен су интерфесінің радиусы



Жанынан қарағандағы көрінісі



Көлденең қимасы

Кеукті ортаны цилиндрлік шыбықтар шоғыры ретінде модельдеу

# Сіңіру (IMBIBITION)

- **Сіңіру** - бұл сұйықтықтың ағу процесі, онда ылғалдандырушы фазасының қанықтылығы артады және суламайтын фазаның қанықтылығы төмендейді. (мысалы, сумен ылғалданушы мұнай резервуарындағы су тасқыны).
- Ылғалдандырушы фазасының **қанығуы жоғарылаған сайын** оның **мобильділігі артады**
- **Мобильділік** бұл белгілі бір фазаның өткізу қабілетінің жалпы үлесі

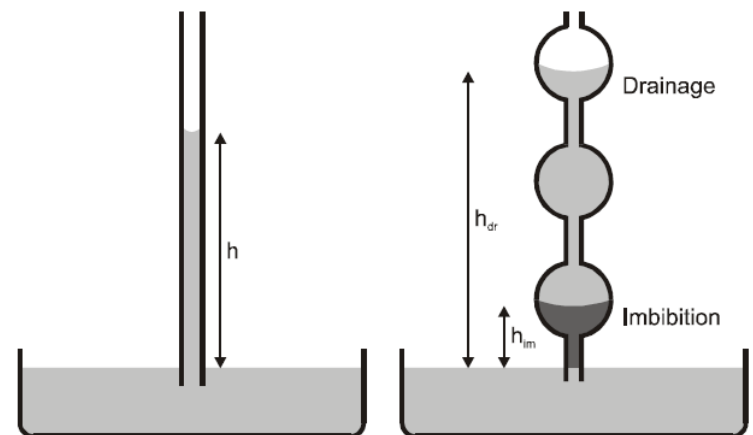


Figure 1.24: Drainage and imbibition in capillary tubes

# Сумен ылғалданатын резервуар, (IMBIBITION)

- Су ең кіші кеуектерді толтырады
- Су үлкен кеуектерді ылғалдандырады
- Мұнай қанықтылығы жоғары кеуектерде мұнай су қабыршығының бетіне орналасады

Сіңіру – егер сумен ылғалданатын резервуар мұнаймен қаныққан болса, онда мұнайды ығыстыра отырып кіші кеуектердің барлығы сумен толады.

# Мұнаймен ылғалданушы резервуар

- Мұнай ең кіші кеуектерді толтырады
- Мұнай үлкен кеуектерді ылғалдандырады
- Су қанықтылығы жоғары кеуектерде су мұнай қабыршығының бетіне орналасады

Егер мұнаймен ылғалданатын резервуар сумен қаныққан болса, онда суды Ығыстыра отырып кіші кеуектердің барлығы мұнайға толатын болады