على النحو التالي :

$$W = \frac{\xi^2}{12 \cdot \mu} \cdot \frac{dP}{dL} \qquad (34\text{-}1)$$

اعتمادا على المعادلتين(1-32) و (1-33) فإن المعادلة (1-34) ستأخذ الشكل التالي :

$$V = -\frac{\alpha \cdot G \cdot \xi^3}{12 \cdot \mu} \cdot \frac{dP}{dL} \qquad (35\text{-}1)$$

ومنه فمعامل النفوذية للصخور المتشققة ، كما هو واضح بالمعادلة سيساوي :

$$K_T = \frac{\alpha \cdot G \cdot \xi^3}{12} \qquad (36\text{-}1)$$

النفوذية الكلية للطبقات المسامية المتشققة تساوي حاصل جمع نفوذية المنطقة المسامية والمنطقة المتشققة .

يتوافق عادة في الطبقات المتشققة المنتجة ضغط الطبقات الفوقية (الضغط الجيوستاتيكي) مع ضغط السائل في الشقوق . عند ثبات الضغط الجيوستاتيكي مع انخفاض الضغط الطبقي وذلك نتيجة لاستثمار القسم الأكبر من النفط الموجود في الطبقة فإن هذا سيؤدي إلى انخفاض قيمة النفوذية وذلك نتيجة لتقلص انفتاح الشقوق إلى قيمة أصغر مما كانت عليه .

1-6- السطح النوعي للصخور

يطلق على مجموع سطوح الحبيبات المشكلة للصخر أو القنوات المسامية في واحدة الحجم بالسطح النوعي ، حيث أنه كلما كانت الحبيبات المشكلة للصخور صغيرة كبر السطح النوعي وبالتالي ينخفض مردود الطبقة من النفط .

إن النفوذية وخاصية الادمصاص واحتواء الصخور للمياه المترابطة وغيرها من

الصفات لها علاقة كبيرة بالسطح النوعي .

نتيجة للأبحاث والدراسات التي قام بها العلماء تم التوصل إلى أنه عدا عن تأثير الصفات الفيزيائية للسوائل والغازات مثل الكثافة واللزوجة على قانون الارتشـــاح ، هناك تأثير كبير أيضا من القوى الشعرية عليه عند منـــاطق تمـــاس الســـائل مـــع الصخر، حيث أن هذه الظواهر والقوى يمكنها أن تغير بوضوح صفة الارتشـــاح ، ولذلك تبين أنه في الصخور ذوات الحبيبات الكبيرة ، حيث يكون الســـطح النوعـــي قليلا فتأثير القوى الشعرية سيكون كبيرا على عملية ارتشاح الســـائل فـــي الوســـط المسامي ، وعلى هذا الأساس يعتبر السطح النوعي خاصية هامـــة مـــن الخـــواص الفيزيائية للصخور المكمنية .

كذلك يمكننا القول على أن استيعاب وفهم السطح النوعي هو من الأمور الســـهلة ولكن تعيينه يعتبر من الأمور الصعبة وذلك لأن القنوات المســـامية المتشكلـــة فـــي الصخر المكمني هي ذوات أقطار تتراوح من عشرات ومئات الميكرونات وإلى قيم صغيرة جدا قد تصل إلى مقاييس الجزيء المتكونة منه ذات الصخر المكمني ، أما الصخور المتكونة من حبيبات ذات مقاييس متساوية تقريبا ، عندئـــذ يمكـــن تعييـــن السطح النوعي والذي تكون قيمته قريبة من السطح النوعي الحقيقي للصخور ذاتها.

لنفرض أن الحبيبات هي ذات شكل كروي أو بالأحرى حبيبات الصخر الوهمي ، عندئذ يسهل حساب سطح الحبيبات S الموجودة في واحد متر مكعب من الصخر.

$$S = \frac{6\,(1-\phi)}{d} \qquad (37\text{-}1)$$

حيث أن :

S – السطح النوعي .

ϕ – المسامية .

d – قطر الحبيبات .

أما السطح النوعي للصخور الرملية الطبيعية فيحسب عادة بجمع كـــل الرمـــوز

الداخلة في تركيب هذا الصخر والمحصول عليها عن طريق التحليل الميكانيكي بالعلاقة التالية :

$$S = \frac{6\,(1-\phi)}{M}\sum\frac{M_i}{d_i} \qquad (38\text{-}1)$$

حيث أن :

M – كتلة الصخر .

M_i – كتلة الزمرة .

d_i – القطر الوسطي للزمرة والمعين بالمعادلة التالية :

$$d_i = \frac{d'_i + d''_i}{2} \qquad (39\text{-}1)$$

حيث أن :

d'_i , d''_i – الحدان النهائيان لأقطار الزمرة المعينة

نتيجة للأبحاث والدراسات التي قام بها الباحثون ، تم التوصل إلى أنه لحساب السطح النوعي الحقيقي علينا بضرب النتيجة المحصول عليها بالعلاقة (1-37) بقيمة $\alpha = 1.2 - 1.4$ وذلك مع الأخذ بعين الاعتبار أن الصخور الحقيقية سوف لا يكون شكل حبيباتها كرويا كما اعتبرناه بالمعادلة (1-37) . كذلك من المعادلة (1-37) والتي بواسطتها يتم تعيين قيمة السطح النوعي للصخور الوهمية ، حيث أنه وللانتقال من الصخر الوهمي إلى الصخر الحقيقي تم تبديل الصخر الوهمي بصخر وهمي مشابه ، بحيث تكون المقاومة الهيدروليكية والسطح النوعي في أثناء ارتشاح السائل ضمن هذا الصخر الوهمي المشابه تساوي المقاومة الهيدروليكية والسطح النوعي للصخر الحقيقي ، حيث أن قطر الحبيبات المشكلة لهذا الصخر الوهمي المشابه تسمى بالقطر الفعال d_E وبالتالي للانتقال من الصخر الوهمي إلى الصخر الحقيقي علينا بالتعويض بدلا من قطر الحبيبات للصخر الوهمي بالقطر الفعال . وبمقارنة المعادلتين (1-37) و (1-38) نحصل على :

$$d_E = \frac{M}{\sum \frac{M_i}{d_i}} \qquad (40\text{-}1)$$

أو

$$S = \frac{6\,(1-\phi)}{d_E} \qquad (41\text{-}1)$$

كذلك بالإمكان تعيين السطح النوعي بواسطة نصف القطر الهيدروليكي δ

$$\delta = \frac{\phi \cdot d}{6\,(1-\phi)} \qquad (42\text{-}1)$$

حيث أن :

$$S = \frac{\phi}{\delta} \qquad (43\text{-}1)$$

من المعروف أن نصف القطر الهيدروليكي يمثل نسبة علاقة سطح القنوات المسامية إلى محيطها عندئذ سيكون :

$$\delta = \frac{R}{2}$$

حيث أن :

R – نصف قطر القنوات المسامية .

$$S = \frac{2\,\phi}{R} \qquad (44\text{-}1)$$

نعوض في المعادلة (1–44) قيمة R من المعادلة (1–23) فنحصل على :

$$S = \frac{\phi \cdot \sqrt{\phi}}{\sqrt{2K}} \qquad (45\text{-}1)$$

حيث أن :

K – معامل النفوذية .

S – السطح النوعي .

إذا مثلت قيمة النفوذية بالمتر المربع ، عندئذ يكون السطح النوعي مقدرا بالواحدة m^2/m^3 .

$$S = \frac{7 \times 10^5 \phi \sqrt{\phi}}{\sqrt{K}} \qquad (46\text{-}1)$$

من المعادلتين (1–45) و (1–46) نستنتج أنه كلما كان نصف قطر القنوات المسامية والنفوذية صغيرا كان السطح النوعي كبيرا .

تمثل المعادلة رقم (1–46) شكلا من أشكال معادلة كوزيني وكارمانا (Kouzeny & Carmana) التي توضح علاقة النفوذية بالمسامية وبتركيب الفراغات المسامية . أما الشكل العام لمعادلة كوزيني وكارمانا فهو على الشكل التالي :

$$K = \frac{\phi^3}{f \cdot S^2 \cdot T^2} \qquad (47\text{-}1)$$

حيث أن :

ϕ – المسامية الفعالة .

S – السطح النوعي .

T – اعوجاج القنوات المسامية (نسبة علاقة القيمة الوسطية لطول القنوات المسامية على طول العينة) .

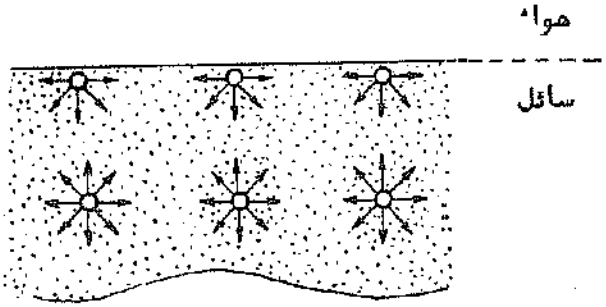
f – ثابت يأخذ بعين الاعتبار شكل القنوات المسامية وقيمته تتراوح بين 2 إلى 3 . أما قيمة T فقد تصل إلى 6 وما فوق .

1-7- الصفات الشعرية

ذكرنا في البنود السابقة أنه يوجد في الطبقات النفطية جريان لعدة مواد طبقيـــة . فإذا افترضنا أن الطبقة تحتوي على مادة واحدة فنتيجة لذلك سيكون بيـــن الوســط المسامي والمادة المذكورة صنف واحد من القوى تتصف بالتأثير المتبادل فيما بينها، أما إذا كان لدينا عدة مواد فعلى الوسط المسامي ستؤثر على الأقل ثلاثة أصناف من القوى هي التوتر السطحي والضغط الشعري وخاصية التبلل

1-7-1- التوتر السطحي

كلنا يعلم أن الجزيئات المشكلة للماء مترابطة مع بعضها حيث تؤثر علـــى كـــل جزيئ قوة جذب من جميع الأطراف تجعله في حالة توازن ولكن إذا أخذنا مثلاً الحد الفاصل بين الماء والهواء فجزيئات الماء على الحـــد ليســـت فـــي حالـــة تـــوازن كالجزيئات الموجودة في المنتصف وإنما هي تحت تأثير قوى جذب للأسفل ، انظر الشكل رقم (44) ، وتكون منضغطة للأسفل كالنابض المضغوط لدى ضغطه مـــع الاحتفاظ بالضغط عليه سيبقى ضمنه قوة كامنة ، بحيث إذا رفعنا القوة مـــن عليـــه سيعطي قوته الكبيرة . كذلك الأمر بالنسبة للجزيئات الموجودة على الحد الفـــاصل بين الماء والهواء فستكون تحت تأثير قوة شد للأسفل وهذه القوة يطلق عليها بالتوتر السطحي ويرمز لها بالرمز σ .



الشكل رقم (44) الرسم التخطيطي لتوضيح قوى التجاذب بين الهواء والسائل

تمثل واحدة قياس التوتر السطحي العلاقة بين القوة وواحدة الطول :

$$\sigma = \frac{erg}{Cm^2} = \frac{dyn \cdot Cm}{Cm^2} = \frac{dyn}{Cm}$$

اعتمادا على قوة التوتر السطحي نستطيع أن نحكم على صفات تلامس المـــواد ، التأثير المتبادل بين السوائل والمواد الصلبة ، على نشاط ظهور القـــوى الشعريـــة وغيرها . بزيادة درجة الحرارة تقل قوة التوتر السطحي على الحد الفـــاصل بيـــن المياه النقية والبخار وذلك بسبب تأثير الحرارة على تخفيـــف قـــوة التجـــاذب بيـــن الجزيئات وهذه العلاقة تكتب بالشكل التالي :

$$\sigma_t = \sigma_0 (1 - \aleph \cdot t) \qquad (48\text{-}1)$$

حيث أن :

σ_t , σ_0 – قوة التوتر السطحي عند درجة الحرارة t وصفر .

$\aleph$ – معامل الحرارة لقوة التوتر السطحي .

t – درجة الحرارة .

الجدول رقم (1–1)

المواد	معامل الحرارة 1/C°	قوة التوتر السطحي عند درجة الحرارة 20 C° ، dyn/Cm
زئبق	0.00035	465
ماء	0.00200	72.75
حمض الخل	0.00380	23.50

الجدول رقم (1–1) يوضح معامل الحرارة والتوتر السطحي لبعض السوائل .

تتناقص قوة التوتر السطحي للسائل على الحد الفاصل مع الغاز بزيادة الضغـــط ويحدث ذلك نتيجة لانضغاط الغاز وذوبانه في السائل .

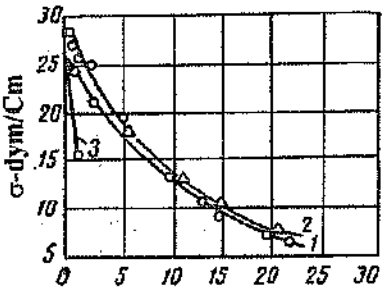
الجدول (1–2) يوضح نتائج قياس قوة التوتر السطحي عند درجات مختلفة مـــن

الحرارة والضغط .

جدول (1-2)

الضغط	قوة التوتر السطحي عند درجات الحرارة ، C°		الضغط	قوة التوتر السطحي عند درجات الحرارة ، C°	
Kgf/Cm^2	25	65	Kgf/Cm^2	25	65
0	–	67.5	69.2	55.9	50.4
6.9	71.1	63.2	103.0	51.0	46.5
17.2	65.5	58.8	137.6	47.9	42.3
34.5	61.6	55.5	186.4	44.1	39.5

أما العلاقة فهي علاقة التوتر السطحي على الحد الفاصل بين النفط والغاز مـــع الضغط . فبالرغم من أن هذه العلاقة لها – تقريبا – نفس المواصفات الموجودة عند الماء والغاز ولكن الاختلاف هنا هو أن تغير قوة التوتر السطحي يتعلق بعدة عوامل إضافية مثل التركيب الكيميائي للنفط ، كمية الغاز المذابة بالنفط وتركيبه وغيرها من العوامل .

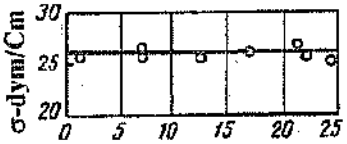


الشكل رقم (45) علاقة التوتر السطحي للنفط مع الضغط

1- على الحد الفاصل مع الميتان عند t = 20 C°

2- على الحد الفاصل مع الميتان عند t = 60 C°

3- على الحد الفاصل مع مزيج الميتان والبروبان



الشكل رقم (46) التوتر السطحي لنفط معين على الحد الفاصل مع الماء لدى ضغوط مختلفة ودرجة حرارة $t = 20\ C°$

الشكل رقم (45) يوضح تغير قيم التوتر السطحي على الحد الفاصل بين النفـــط والغاز عند قيم مختلفة من الضغط . كذلك يتبين أنه كلما زادت كمية الغاز المـــذاب في النفط نتيجة لارتفاع الضغط قلت قوة التوتر السطحي بسرعة أكبر .

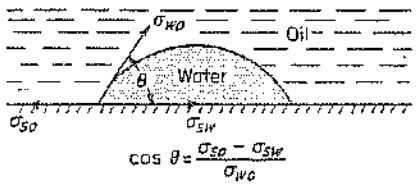
أثبتت الدراسات المخبرية أيضا أن قوة التوتر السطحي على الحد الفاصل بيـــن النفط والماء لا تتأثر بارتفاع الضغط والحرارة وتكون ثابتة ، انظر الشكل رقم (46) وهذا يعلل بأن قوة تجاذب الجزيئات فيما بينها على الحد الفاصل تكون غير كبـــيرة وتقريبا متساوية للسائلين في أثناء زيادة الضغط والحرارة .

1-7-2- خاصية التبلل

نفرض أنه لدينا أسطوانة مكونة من سائلين A و B ولها صفـــات متباينـــة بحيث أن أحدهما لا يختلط بالآخر ، فعلى الحد الفاصل بين السائلين ســـيكون قـــوة التوتر السطحي σ_{AB} . فإذا فصلنا هذين السائلين عن بعضهما فسيتشكل ســـطحان جديدان ، يتشكل السطح الأول من السائل A والسطح الآخر مـــن الســـائل B . العمل اللازم لفصل هذين السائلين عن بعضهما يساوي مجموع التوتر السطحي لكل سائل على حدة مطروحا منه قوة التوتر السطحي فيما بينهما ، وهذا العمل يســـمى بالأدهيزيا (Adhezia)

$$\sigma_A + \sigma_B - \sigma_{AB} = \mathbf{Adhezia}$$

لنفرض الحالة التي يكون هناك اتصال بين الجسم الصلب وسائلين (نفط وماء) ، انظر الشكل رقم (46) ، فقوة الأدهيزيا ســـتمثل العمل الذي يعتبر تابعا للتوتر ويعيـــن أي نوع من هذين السائلين له خاصيـــة تبلـــل الجسم الصلب أكثر من الآخر .



الشكل رقم (46) قوة التوتر السطحي على الحد الفاصل بين الماء والنفط والجسم الصلب

لتعيين زاوية التبلل θ والتي تقاس دوما باتجاه السائل الذي له كثافة أكبر مـــن

السائل الآخر وتتغير من الصفر إلى 180° ، وعلى هـذا الأسـاس يمكننـا كتابـة المعادلة التالية :

$$Ad = \sigma_{so} - \sigma_{sw} = \sigma_{wo} \cdot \cos \theta_{wo} \qquad (49\text{-}1)$$

حيث أن :

Ad – قوة الأدهيزيا .

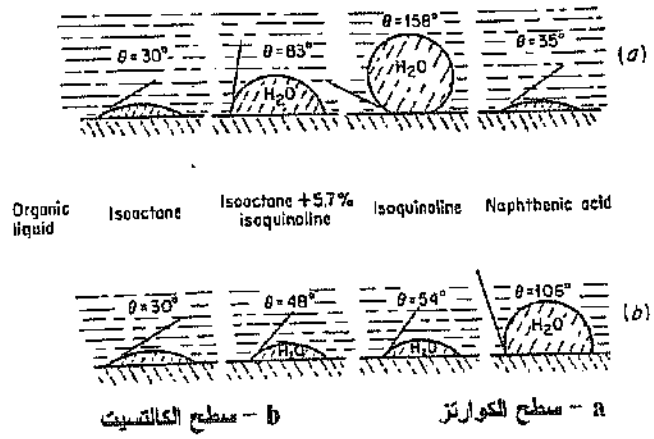
σ_{so} – التوتر السطحي على الحد الفاصل بين النفط والجسم الصلب .

σ_{sw} – التوتر السطحي على الحد الفاصل بين الماء والجسم الصلب .

σ_{wo} – التوتر السطحي على الحد الفاصل بين النفط والماء .

إذا كانت قيمة الأدهيزيا موجبة ، فهذا يعني أن الماء له خاصيـة تبلـل للجسـم الصلب أكثر من النفط ، بينما إذا كانت Ad تساوي الصفر ، فهذا يعني ان المـاء والنفط لهما نفس الخاصية بالنسبة للجسم الصلب .

توضح الأدهيزيا التي عينت بالمعادلة (1–49) قدرة السائل الذي لـه خاصيـة التبلل على الالتصاق بالجسم الصلب وانسيابه عليه . فإذا كانت قيمة الأدهيزيا كبيرة أو بالأحرى إذا كانت زاوية التبلل صغيرة فالماء سينساب بسـرعة علـى الجسـم الصلب محاولا تغطيته ، وإذا كانت زاوية التبلل كبيرة فإنه يلزمنا طاقـة خارجيـة حتى ينساب الماء على الجسم الصلب .



الشكل رقم (47) زوايا التبلل

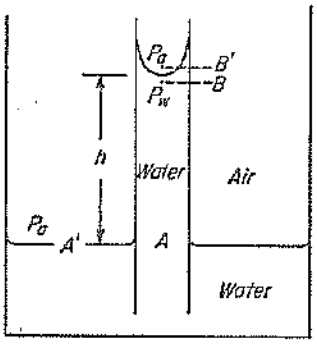
نظام " ماء – إيزو أوكتان " ومن الشكل رقم (47) يتبين أن الماء له خاصية تبلل جيدة للكوارتز والكالتسيت أيضاً ، ونظام "ماء حمض النفتاليك" يتبين أن المـــاء لـــه خاصية تبلل لسطح الكوارتز أكثر من حمض البنزويك $\theta=35°$ ، بينمـــا حمـــض النفتاليك له خاصية تبلل جيدة لسطح الكالتسيت أكثر مـــن المـــاء $\theta = 106°$.

ولنظام " ماء – إيزو أكتان + 7 ، 5 إيزو كوينولين " نرى أن الماء له خاصية تبلل جيدة لسطح الكالتسيت ، بينما الأخير له خاصية تبلل جيدة لسطح الكوارتز أفضـــل من الماء . ولنظام " ماء – إيزوكوينولين " نرى أن الماء له خاصيـــة تبلـــل جيـــدة لسطح الكالتسيت أفضل من الإيزوكوينولين ، بينما الأخير له خاصية تبلـــل جيـــدة لسطح الكوارتز أفضل من الماء له .

مما ذكر نستنتج أن تغير تركيب الصخور وطبيعة السوائل له تأثير كبـــير علـــى خاصية التبلل . عدا عن ذلك يوضح ما ذكر أعلاه أن التركيب الكيميائي للســـوائل والصخور عند النظام " نفط – ماء – جسم صلب " له تأثير كبير على خاصية التبلل وبالتالي يبين أن الجسم الصلب سيكون محباً للماء (Hidrofile) أو غـــير محـــب للماء (Hidrofobe) .

1-7-3- ارتفاع السوائل في الأنابيب الشعرية

إذا كان لدينا أنبوب شعري ذو قطـــر قطر صغير جداً ، حيث أن هذا الأنبوب مغمور من إحدى نهايتيه بوعاء فيه ماء لمستوٍ معين ، انظر الشكل رقم (48) ، فإن الماء سيرتفع في الأنبوب وســـيكون مستواه فيه أعلى من مستواه في الوعاء وهذه الظاهرة تعلل نتيجة لقوة الأدهيزيا بين جدران الأنبوب الداخلية والسائل ،



الشكل رقم (48) الضغط في الأنبوب الشعري على الحد الفاصل بين الماء والهواء

حيث أنها ستستمر إلى حين توازن ضغط عمود السائل في الأنبوب مع القوة التـــي تؤثر على السائل لدفعه إلى الأعلى . قوة دفع السائل للأعلـــى يمكننـــا توضيحـــها رياضيا على النحو التالي :

$$Ad \cdot 2\pi \cdot r$$

ويمكننا كتابة العلاقة أيضا على الشكل الآتي :

$$\sigma_{wg} \cdot Cos\,\theta \cdot 2\pi r$$

وزن عمود السائل في الأنبوب يساوي :

$$\pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot g \cdot h$$

حيث أن :

Ad – قوة الأدهيزيا ، dyn/Cm .

g – قوة الجاذبية ، Cm/S .

r – نصف قطر الأنبوب ، Cm .

ρ – كثافة السائل ، g/Cm^3 .

وبمساواة هاتين المعادلتين يمكننا أن نحسب قوة الأدهيزيا الكليـــة يوازنـــها وزن عمود السائل في الأنبوب . الضغط في الوسط السائلي P_w تحت الحد الفاصل بين الغاز والسائل في الأنبوب أقل من الضغط في الوسط الغازي P_a فوق الحد الفاصل بين الغاز والسائل ، حيث أن فارق الضغط يسمى الضغط الشعري . من الشكل رقم (48) يتبين أن عمود السائل سيرتفع في الأنبوب للقيمة h ، فإذا كانت h صغيرة ، فإنه لمن الممكن إهمال عمود الغاز . وعلى هذا الأساس فالضغط في الوسط الغازي على الحد الفاصل بين الغاز والسائل في الأنبوب يساوي ضغط الهواء على ســـطح الماء في الوعاء . وبما أن كثافة الماء – نوعا ما – كبيرة ، لذلـــك فـــالضغط فـــي الوسط المائي مباشرة تحت الحد الفاصل بين الماء والغاز في الأنبوب يختلف عـــن الضغط في القسم السفلي بفارق وزن عمود السائل للارتفاع h . وبما أن سطح الماء

في الوعاء أكبر بكثير من سطح الماء في الأنبوب ، لذا يمكننا اعتباره أفقيا والضغط الشعري في القسم السفلي من الأنبوب يساوي ضغط الغاز على سطح المـــاء فـــي الوعاء والضغط في القسم العلوي من الأنبوب تحت الحد الفاصل بين الماء والهواء يساوي الضغط في القسم السفلي من الأنبوب ناقص وزن عمـــود الســـائل والـــذي ارتفاعه يكون مساويا h . نرمز للضغط في الوسط المائي في الأنبـــوب مبـــاشرة تحت الحد الفاصل بين الماء والهواء P_w وللضغط في الوسط الغازي فـــوق هـــذا الحد P_a ، لذا سيصبح لدينا :

$$P_a - P_w = \rho_w \cdot g \cdot h = P_k \qquad (50\text{-}1)$$

حيث أن :

ρ_w – كثافة الماء .

g – قوة الجاذبية .

h – فرق مستوى الماء في الأنبوب والوعاء .

ذكرنا سابقا أن فارق الضغط بين P_a و P_w يساوي الضغط الشعـــري P_k ، لذلك لحساب هذا الضغط يمكننا مقارنة القوى التي تؤثر للأعلى وللأسفل :

$$2\pi \cdot r\,Ad = \pi \cdot r^2 \cdot \rho\, g \cdot h$$

$$h = \frac{2\pi \cdot r\,Ad}{\pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot g} = \frac{2\,Ad}{r \cdot \rho \cdot g} \qquad (51\text{-}1)$$

وبتعويض قيمة Ad من المعادلة (1–49) نحصل على :

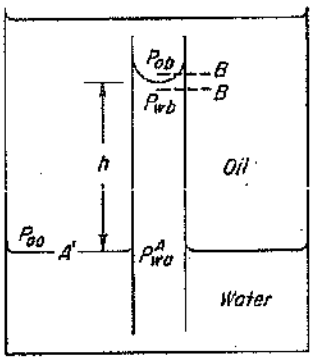
$$h = \frac{2\sigma_{wg} \cdot \cos\theta_{wg}}{r \cdot \rho \cdot g} \qquad (52\text{-}1)$$

بتعويض قيمة h من المعادلة (1–51) في المعادلة (1–50) نحصل على :

$$P_k = \frac{2\sigma_{wg} \cdot \cos\theta_{wg}}{r} \qquad (52\text{-}1)$$

والآن لنبحث الحالة التي نغمر فيها الأنبوب الشعري المملوء بالنفط في وعاء فيه

ماء ، حيث سينشكل لدينا حد فاصل بين النفط والماء ، انظر الشكل رقم (49) .



الشكل رقم (49) الضغط في الأنبوب الشعري على الحد الفاصل بين الماء والنفط

لنعتبر الرموز التالية :

- P_{oa} – الضغط في الوسط النفطي في النقطة A′ .
- P_{ob} – الضغط في الوسط النفطي في النقطة B′ .
- P_{wa} – الضغط في الوسط المائي في النقطة A .
- P_{wb} – الضغط في الوسط المائي في النقطة B .

كذلك في مثل هذه الحالة إذا كان سطح الحد الفاصل بين النفط والماء في الوعاء كبيرا ، لذا يمكننا من اعتبار سطحه أفقيا ولذلك فالضغط الشعري في النقطة A′ سيساوي الصفر أو بالأحرى على الحد الفاصل بين النفط والماء في الوعاء سيكون $P_{oa} = P_{wa}$. للحصول على علاقة الضغط في النقطة B يجب الأخذ بعين الاعتبار قيم كثافة الماء والنفط .

$$P_{ob} = P_{oa} - \rho_o \cdot g \cdot h \quad ; \quad P_{wb} = P_{wa} - \rho_w \cdot g \cdot h$$

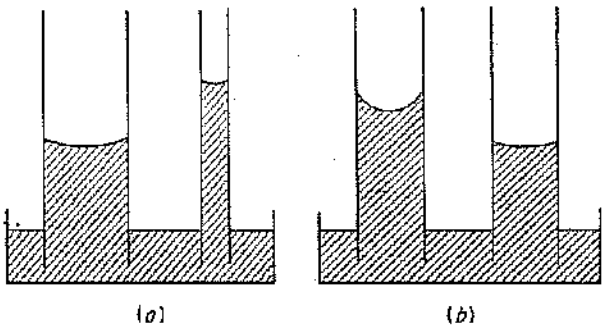
عندئذ فرق الضغط بين طرفي الحد الفاصل بين النفط والماء في الأنبوب سيكون:

$$P_{ob} - P_{wb} = (\rho_w - \rho_o) g \cdot h = P_k \qquad (53\text{-}1)$$

في هذه الحالة يمكننا أيضا الحصول على المعادلة التي بواسطتها نستطيع حساب الضغط الشعري مثلما حصلنا عليها سابقا في حالة وجود ماء وهواء وسيكون لـــها الشكل التالي :

$$P_K = \frac{2\,\sigma_{wo} \cdot \mathrm{Cos}\,\theta_{wo}}{r} \qquad (54\text{-}1)$$

من المعادلة (1–54) يتبين أن الضغط الشعري يتناسب طردا مع قوة الأدهيزيـــا ($\sigma_{wo} \cdot \mathrm{Cos}\,\theta_{wo}$) وعكسا مع نصف قطر الأنبوب الشعري .



الشكل رقم (50) علاقة ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري مع خاصية التبلل ونصف قطر الأنبوب

يوضح الشكل رقم (50) تأثير نصف قطر الأنبوب وتغير خاصية التبلـــل علـــى مستوى ارتفاع السائل في الأنبوب . لدى زيادة نصف قطر الأنبـــوب دون تغيـــير صفات خاصية التبلل فمستوى ارتفاع السائل في الأنبوب سيكون أقل مـــن مســـتوى السائل في الأنبوب ذي القطر الأصغر ، الشكل رقم (50–a) .

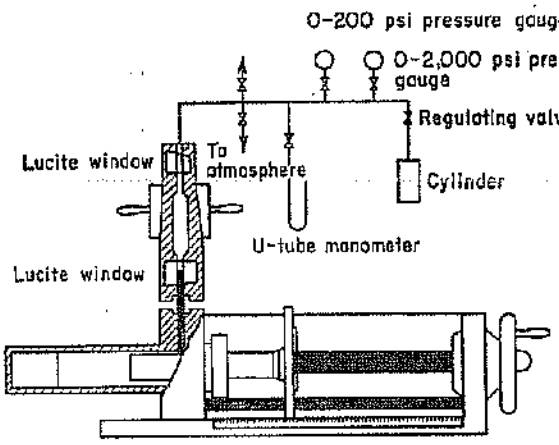
بتغيير صفات خاصية التبلل دون تغيير نصف قطر الأنبوب ، فإننا نصـــل إلـــى النتيجة التالية : أنه بزيادة قوة الأدهيزيا يزداد ارتفاع مستوى الماء في الأنبـــوب . فعند تغيير خاصية التبلل للجسم الصلب فقط مع ثبات نصف قطر الأنبوب نجد أنـــه كلما كانت زاوية التبلل θ صغيرة كانت قوة الأدهيزيا أكبر ، وبالتالي ستؤدي إلى زيادة ارتفاع مستوى السائل في الأنبوب ليصل إلى ذلك الارتفاع ، حيـــث يحـــدث

توازن بين هذين الأنبوبين ، انظر الشكل رقم (50–b) والذي يبين أنه كلما قلت الزاوية θ سيؤدي ذلك إلى ارتفاع مستوى السائل في الأنبوب .

1–7–4– توزع المسامات حسب مقاييسها – منحنيات الضغط الشعري – تشبع المسام بمادة ذات خاصية تبلل

يعين الاحتواء النسبي للمسامات ذوات المقاييس المختلفة في الوسط المسامي في أغلب الأحيان بطريقة حقن الزئبق في العينة أو بطريقة الحاجز ذي النفوذية الضعيفة .

أما طريقة حقن الزئبق ، انظر الشكل رقم (51) ، فهي على النحو التالي :



الشكل رقم (51) جهاز قياس الضغط باستخدام حقن الزئبق

توضع العينة الجافة المغسولة من النفط في حجرة مفرغة من الهواء ومملوءة بالزئبق ، يحقن الزئبق في مسامات العينة بواسطة مكبس عادي ، وذلك برفع الضغط تدريجيا ، حيث يعين نصف قطر المسام الذي يحقن فيه الزئبق بالمعادلة التالية :

$$P_K = \frac{2\,\sigma\,\mathrm{Cos}\,\theta}{r} \qquad (55\text{-}1)$$

حيث أن :