

الباب التاسع كيمياء السطوح

الباب التاسع

" كيمياء السطوح "

Surface Chemistry

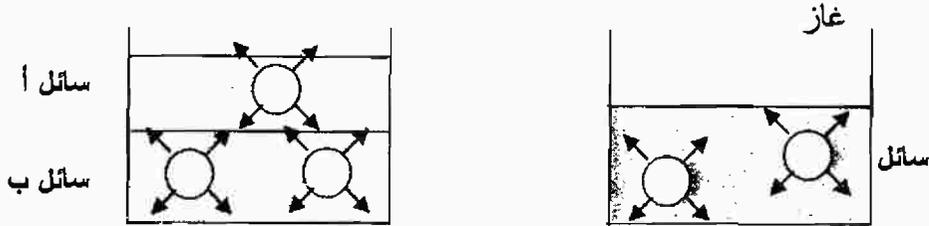
مقدمة :

تخضع جزيئات الطبقة السطحية لجذب غير متساو من قبل الطبقات الداخلية للمادة والوسط المتاخم للطبقة السطحية ، بينما الجزيئات في الطبقات الداخلية من المادة تتعرض لجذب متساوي وسطياً في جميع الإتجاهات بسببه الجزيئات المحيطة . ولهذا فإن خواص الطبقة السطحية للمادة تختلف دائماً بعض الشيء عن خواص الأجزاء الداخلية للمادة . وتؤثر الخواص السطحية علي الخواص الأخرى للمادة إذ يظهر هذا التأثير ضعيفاً عندما يكون سطح المواد غير كبير . ولكن كلما زاد سطح المادة أو زادت مساميتها إشتد تأثير الخواص السطحية حيث يصبح كبيراً . فعند تقطيت المادة يزداد السطح الإجمالي لجسيماتها فمثلاً إذا أخذنا مكعب من المادة طول ضلعة 1 سم وتم تقطيعه الي مكعبات أصغر . فإذا حصلنا بعد التقطيت علي مكعبات طول ضلعها 10^{-7} سم . فإن هذا السطح يساوي عندئذ 6000 م² .

وكذلك عند زيادة التقطيت نجد أن الذوبانية تزداد . ولهذا تتمتع البلورات الصغيرة بذوبانية أكبر من ذوبانية البلورات الضخمة .

يتكون السطح الفاصل بين غاز وسائل أو وسائل وسائل من طبقة رقيقة يختلف سمكها حسب نوعية الصنفين والحالة العامة المحيطة بها من درجة الحرارة وضغط . وتختلف خواص ذلك السطح الفاصل عن خواص كلاً من الصنفين الملامسين له حيث تخضع الي القوي الجزيئية لكلا الصنفين وتختلف الخواص الكيميائية والفيزيائية للسطح الفاصل (الطبقة السطحية) إختلافاً كاملاً عن خواص الأصناف المجاورة له وذلك نتيجة وجود طاقة حرة إضافية في الطبقة السطحية ناتجة عن القوي المضاعفة المؤثرة عليها وتنتج تلك القوي عن عدم الأتزان الحادث في الروابط الجزيئية للطبقة السطحية و كل ذلك يؤدي الي أن الجزيئات الموجودة في الطبقة السطحية تكون في حالة مختلفة

تماماً عن حالة الجزيئات الموجودة في الأطوار المجاورة لها . حيث تكون الجزيئات الموجودة في الطبقة السطحية محاطة من جهة بجزيئات من نوع معين بينما في الجهة الأخرى يوجد جزيئات مختلفة تماماً عنها شكل (1) ولتأخذ مثال علي ذلك :



شكل (1) السطح الفاصل بين غاز وسائل

، سائل وسائل

سائل مع بخاره . نجد أن الجزيء الموجود داخل السائل يخضع لقوي متساوية من جميع الإتجاهات وهي القوي التي تربط بين الجزيئات بينما يكون الجزيء الموجود في الطبقة السطحية مشدود إلي داخل السائل بقوي أكبر من التي تشده الي بخار السائل وذلك نتيجة لأن جزيئات بخار السائل متباعدة بشكل كبير عن بعضها البعض فإن سطوح السوائل تميل الي التقلص لإعطاء أصغر سطح ممكن في حالة غياب قوي خارجية وهذا ما يتضح في أن قطرة السائل تأخذ شكل كروي لأنه يمثل أصغر سطح ممكن لنفس الكمية من المادة .

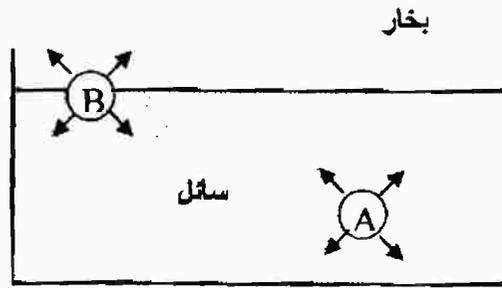
التوتر السطحي :-

إذا حاولنا زيادة السطح الفاصل بين صنفين أي نقل جزيئات من داخل أحد الصنفين الي السطح يجب القيام بعمل ضد قوي الترابط الجزيئية أي القوي بين الذرات أو الأيونات أو الجزيئات حيث يختزن ذلك علي شكل طاقة سطحية :

$$V = \frac{dG}{dA} \quad \text{معادلة :}$$

حيث تمثل V تمثل الطاقة السطحية بينما dG تمثل الزيادة في الطاقة الحرة المتكونة عندما يزداد السطح بمقدار dA عند درجة حرارة وضغط ثابتين مع ثبات عدد الجزيئات وينتج عن ذلك تمتع جزيئات الطبقة السطحية بطاقة حرة أعلى من الجزيئات الأخرى وهذه الطاقة الإضافية في وحدة السطوح للطبقة السطحية يطلق عليها التوتر السطحي ويرمز لها بالرمز V .

ويوضح الشكل (2) حالة سائل مع بخارة ونجد أن جزيئات (A) الموجودة داخل السائل تكون واقعة تحت تأثير قوي متساوية من جميع الإتجاهات ومحصلتها صفر .



أما الجزيئات (B) الواقعة على السطح فإنها تكون واقعة تحت تأثير قوي جزيئات السائل من جهة وقوي جزيئات البخار من جهة أخرى وتلك القوي غير متساوية وبالتالي فإن محصلتها تكون ذات قيمة وهي متجهة الي داخل السائل من خلال ذلك يتضح لنا بأن التوتر السطحي هو عبارة عن الشغل اللازم لزيادة سطح السائل بمقدار 1 سم ، إذا كانت الزيادة في السطح قدرها dA فإن الشغل اللازم لعمل تلك الزيادة نحصل عليه كما يلي :-

$$dW = -V \cdot dA$$

$$= -dG$$

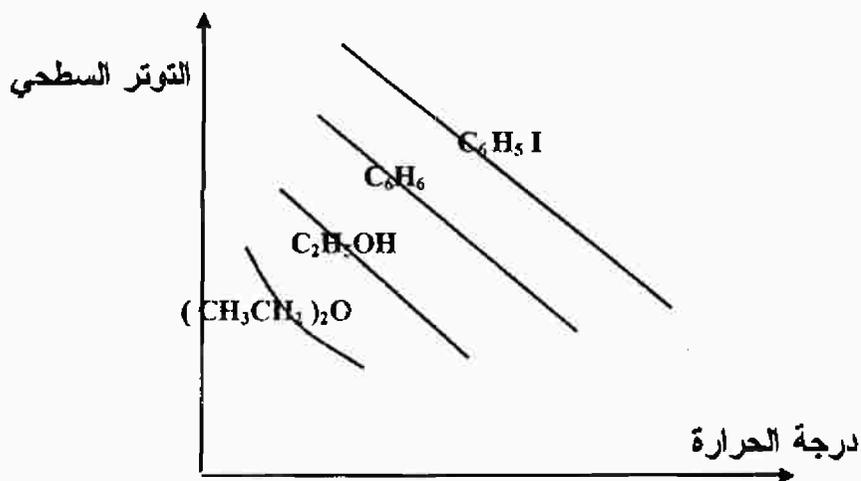
$$dG = V \cdot dA \quad \text{حيث أن}$$

γ التوتر السطحي (أرج / سم²) و dW الشغل المبذول و dG التغير في الطاقة الحرة . ويقاس التوتر السطحي بأرج / سم² (erg / Cm^2) وهي تساوي دايين / سم (dyne / Cm) والجدول التالي يبين التوتر السطحي لبعض السوائل :

المحول الإيمى	الهكسان	الكلورفورم	البنزين	كلوريد البنزين	الماء	السائل
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	C_6H_{12}	CHCl_3	C_6H_6	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	H_2O	التوتر السطحي
22.03	26.54	27.1	28.88	33.2	72.8	داين / سم

علاقة التوتر السطحي بدرجة الحرارة :

هناك علاقة بين التوتر السطحي ودرجة الحرارة حيث أن بتغير درجة الحرارة يؤدي الي تغير القوي التي تربط بين الجزيئات وبالتالي تغير قيمة التوتر السطحي . فإرتفاع درجة حرارة سائل يؤدي الي تمدة وبالتالي إنخفاض قوي الجذب للجزيئات داخل السائل أو في بخاره مما ينتج عنه نقصان في التوتر السطحي ويوضح الشكل تغير التوتر السطحي لبعض السوائل بدلالة درجة الحرارة (شكل 3)



شكل (3) يوضح علاقة التوتر السطحي بدرجة الحرارة لبعض السوائل

نلاحظ أن العلاقة بين التوتر السطحي ودرجة الحرارة خطية لأغلب السوائل مثل يوديد البنزين والبنزين والكحول الإيثيلي وثنائي إيثيل إيثر . ويطلق إسم الدرجة الحرجة T_c علي درجة الحرارة التي ينعدم عندها التوتر السطحي وتختلط الأصناف مع بعضها البعض . ولقد إفترض فاندرفال أن العلاقة الرياضية بين التوتر ودرجة الحرارة بما يلي :

$$V = V_0 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

حيث تمثل V_0 التوتر السطحي عند درجة الصفر .

T_c درجة الحرارة الحرجة .

ولقد وضع العالم أيتوفوس العلاقة التي تربط بين درجة الحرارة والتوتر السطح والكتلة الجزيئية وهي :

$$V (M/d)^{2/3} = K (T_c - T)$$

حيث أن M تمثل الكتلة الجزيئية .

d كثافة السائل .

K معامل درجة الحرارة أو ثابت أيتوفوس .

الخاصية الشعرية :

إذا وضعنا أنبوبة شعرية في كأس به سائل ... لفإن السائل يرتفع في الأنبوبة الشعرية أو ينخفض تبعاً لقوي الترابط بين جزيئات السائل وقوي الإلتصاق بين جزيئات السائل من جهة وجزيئات المادة التي تتكون منها الأنبوبة الشعرية حيث هذه القوي تحدد الزاوية الواقعة بين سطح السائل وجدار الأنبوبة الشعرية (الزاوية θ) . فإذا كانت قيمة الزاوية θ أقل من 90 درجة فإن السائل يبيل جدار الأنبوبة ويشكل سطحه منحنى مقعر ويرتفع الماء في الأنبوبة الشعرية . أما إذا كانت الزاوية θ أكبر من 90 درجة

فإن شكل السطح يكون محدباً ويؤدي الي هبوط السائل في الأنبوبة الشعرية عن مستواه في الإناء الحادي وتسمى تلك الظاهرة بالخاصية الشعرية وإذا فرضنا أن h هي إرتفاع السائل إذا كان معقر أو المسافة بين سطح السائل ونهاية الإناء الحادي إذا كان السائل محدب فإن الإرتفاع h يتناسب مع قيمة التوتر السطح للسائل وقابلية تبلل جدار الأنبوبة الشعرية بالسائل غير أن إرتفاع السائل ينتج عنه قوة معاكسة في الإتجاه الأسفل نتيجة قوة الجاذبية الأرضية ويمكن حساب الإرتفاع الذي يصله مستوي سطح الماء في الأنبوبة الشعرية بدراسة أتران عمود الماء في الأنبوبة الشعرية حيث أنه يخضع الي قوتين هما : وزن عمود الماء . وكذلك قوة سحب السائل لأعلي . ووجد أن قوة وزن عمود الماء قيمتها :

$$F_1 = \pi r^2 h . d . g$$

حيث r هي نصف قطر الأنبوبة الشعرية

و h هي إرتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية عن سطح السائل في الإناء الحاوي .

و d هي كثافة السائل .

و g هي عجلة الجاذبية الأرضية .

ووجد أن قوة شد السائل للأعلي قيمتها :

$$F_2 = 2 \pi r \gamma \cos \theta$$

علماً أن القوة F_2 تمثل الضغط الشعري مضروباً بالسطح ($\pi r^2 \cos \theta$)

$$F_2 = \Delta P S = \frac{2\gamma}{r} \pi r^2 \cos \theta = 2 \pi r \gamma \cos \theta$$

وعند حالة الإتران نجد أن القوتان متساويتان أي :

$$F_1 = F_2$$

$$2 \pi r \gamma \cos \theta = \pi r^2 h . d . g$$

وبالتالي تكون قيمة إرتفاع السائل مساوية إلي

$$h = \frac{2v \cos \theta}{d.g.r}$$

وفي حالة الزئبق فإن h تمثل مقدار إنخفاض الزئبق داخل الأنبوب الشعرية عن مستوي سطح الزئبق في الإناء الحاوي . وتستعمل هذه الخاصية في قياس التوتر السطحي للسوائل .

طرق قياس التوتر السطحي :

من أهم الطرق المستخدمة في قياس التوتر السطحي ما يلي :

1- طريقة الأنبوبة الشعرية :-

نضع أنبوبة شعرية نصف قطرها r في سائل ثم يقاس ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية ونحسب التوتر السطحي من المعادلة

$$v = \frac{hd gr}{2 \cos \theta}$$

كما أنه يمكن الإستغناء عن معرفة قيمة r بإستعمال سائلين أحدهما معروف توتره السطحي ولآخر مجهول ويحدد توتره السطحي بقياس ارتفاع كل من السائلين ضمن الشروط بإستعمال نفس الأنبوبة الشعرية بإفتراض أن الزاوية θ مساوية للصفر فإن :-

$$\frac{v}{v'} = \frac{h.d}{h.d'}$$

حيث تمثل h ارتفاع السائل المرجو ذو الكثافة d و تمثل h' ارتفاع السائل المجهول ذو الكثافة d' .

2- طريقة القطرة :-

يتألف جهاز القياس من أناء صغير به تدريج لمعرفة كمية السائل وفي نهاية أنبوبة شعرية تعمل علي سقوط السائل قطرة قطرة علماً أن القطرة تسقط عندما يتساوي

وزنها مع قوة التوتر السطحي وتم وضع السائل المراد قياس توتره السطحي وسائل آخر توتره السطحي معروف وبواسطة المعادلة التالية :

$$\frac{v_1}{V_1 d_1} = \frac{v_2}{V_2 d_2}$$

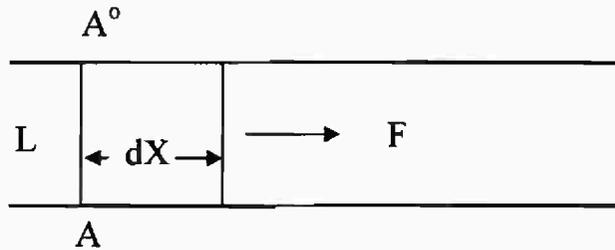
يمكن حساب v_1 بحيث تكون v_2 معروفة علماً أن V_1 , V_2 عبارة عن عدد ثابت من القطرات للسائلين الأول والثاني .

الطاقة السطحية :

من المعلوم أن أي زيادة في السطح قدرها dA تتطلب إستهلاكاً للطاقة الخارجية والعلاقة بينهما هي :

$$dw = - \gamma \cdot dA$$

وعلي العكس من ذلك فإن أي نقص بالسطح ينتج عنه طاقة قدرها $\gamma \cdot dA$ فإذا وضعنا إطار معين أحد أضلاعه AA' قابل للحركة وطوله يساوي L في ماء الصابون. فإنه عند رفع الأطار من الصابون يتكون علي سطحه غشاء رقيق ذو وجهين .



شكل (4) لإطار معني يحتوي ضلعاً متحركاً ومنغمس في الصابون

هذا الغشاء ينكمش بسبب التوتر السطحي ، فيجذب بإنكماش الضلع المتحرك AA' بمقدار dX والشغل الذي ينتج عن هذه القوة يساوي : $F \cdot dX$ ونتيجة لذلك نتناقص الطاقة الحرة السطحية بمقدار γdA وعلي ذلك فإن $\gamma dA = F \cdot dX$

ولكن $dA = 2L \cdot dX$ وذلك لوجود غشاء ذو وجهين وعلي ذلك فإن :

$$V = \frac{F}{2L}$$

وعلي ذلك فإن V تمثل نقرة الواقعة علي وحدة الأطوال وبالتالي يمكن التعبير عن التوتر السطحي بـ دابن / سم . وعند دراسة التغيرات في التوتر السطحي للسطح الفاصل بين سائل نقي وبخاره أو بين سائل والهواء فإن تجمع الطاقة الحرة في السطح عند تكوينه G^s يساوي الطاقة الحرة للمجموعة الحقيقية G مطروحاً منها الطاقة الحرة للمجموعة المثالية $(G^a + G^b)$

$$G^s = G - (G^a + G^b)$$

وعليه التوتر السطحي ، أي الطاقة الحرة السطحية بالإضافة في وحدة السطوح يمكن الحصول عليها من المعادلة :

$$V = \frac{G^s}{A^s}$$

وعند اشتقاق العلاقة السابقة بدلالة درجة الحرارة علي أساس أن مسافة السطح الفاصل لا تتغير بتغير درجة الحرارة فنجد أن :

$$\frac{dV}{dT^s} = \frac{1}{A^s} \frac{dG^s}{dT^s}$$

ولقد دلت التجارب أن قيمة التوتر السطحي تقل خطياً مع ارتفاع درجة الحرارة وعلي ذلك فإن :

$$\frac{dV}{dT} = \text{مقدار ثابت ذو قيمة سالبة}$$

$$\frac{1}{A^s} \frac{dG^s}{dT} = \text{مقدار ثابت ذو قيمة سالبة}$$

وحيث أن دالة الطاقة الحرة السطحية الإضافية بدلالة الحرارة كما هو معروف من قوانين الديناميكا الحرارية يساوي الأنتروبية السطحية الإضافية مع عكس الإشارة :

$$\frac{dG^s}{dT^s} = -S^s$$

بمقارنة العلاقتين الآخريتين نجد أن الأنتروبي يشكل الطبقة السطحية كمية ثابتة وموجبة:

$$S^s > 0$$

أي أن تكون الطبقة السطحية عند درجة حرارة ثابتة يصاحبه إمتصاص للحرارة من محيطها الخارجي .

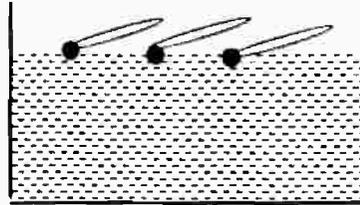
الأغشية السطحية :

إن تفسير وجود قيمة حدية للإمتزاز في مركبات المجموعة الواحدة رغم تغير طول السلسلة الكربونية يكمن في تشكيل الطبقة السطحية وحيدة الجزيء ولقد فسر العالم جيبس هذه الظاهرة حيث أعتبر أن جزيء المادة الفعالة سطحياً مؤلف من قسمين: قسم قطبي ($-COOH$, $-CH_2OH$) وقسم غير قطبي (السلسلة الكربونية) وهكذا عندما تمتز المادة الفعالة سطحياً علي السطح (محلول مائي - غاز) بينما القسم القطبي من الجزيئ منغمراً في المحلول المائي بينما يخرج القسم الغير قطبي الي الطور الغازي وهكذا تتشكل علي السطح طبقة رقيقة من المادة الفعالة سطحياً سمكها جزيء واحد تسمى الطبقة أحادية الجزيء . ولا بد من توفير شرطين أساسيين لتشكيل طبقة الجزيء هما :

- عدم ذوبان الماء في المذيب (الماء مثلاً) .
- تبليل المادة لسطح المذيب .

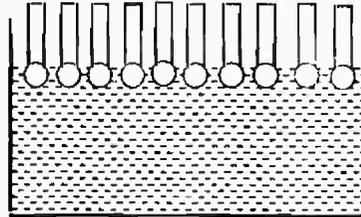
إن تفكك المواد المكونة من قسم قطبي وآخر غير قطبي تتناقص بإزدياد طول السلسلة الهيدروكربونية . أي أن المركبات المتمتعة بسلسلة هيدروكربونية طويلة قادرة علي تشكيل الطبقة الوحيدة الجزيئ . فمثلاً : الحموض الدهنية ($C_n H_{2n+1} \cdot COOH$)

والتي تكون قيمة n أقل من 15 لا تشكل طبقة علي السطح لأنها مواد تذوب في المادة أما إذا كانت قيمة n أكبر من 15 فإن الذوبانية تصبح مهملة وبالتالي تشكل تلك المركبات طبقة علي سطح الماء . وعندما يكون تركيز المادة الفعالة صغيراً فإن السلاسل الهيدروكربونية تسبح علي سطح المحلول المائي بينما تكون المجموعة الوظيفية غاطسة فيه كما في الشكل (5) التالي :



شكل (5) السلاسل الهيدروكربونية تكون علي سطح المحلول المائي بينما المجموعة القطبية تنغمر فيه

ولكن عند إزدياد التركيز تنتصب السلاسل الهيدروكربونية شيئاً فشيئاً حتي تصطف الجزيئات بشكل تغطي فيه السلاسل المنتصبة سطح الماء عند التشبع كما في الشكل (6) :

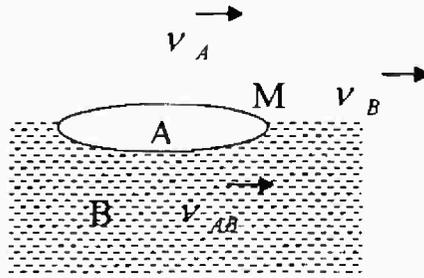


شكل (6) تشكل الطبقة وحيدة الجزيء علي سطح السائل

ويصبح التوتر السطحي للمحلول قريباً من التوتر السطحي للمادة الفعالة بمفردها وهذا ما يفسر تساوي الإمتزاز النهائي max لمركبات الطائفة الواحدة التي تمتلك نفس المجموعة القطبية .

سيلان سائل علي سطح سائل آخر :

نفرض أن لدينا سائلان غير قابلان للإمتزاج (B , A) ، وعند وضع قطرة من السائل A علي سطح السائل B فإن تلك القطرة تبقى محتفظة بشكلها أو تسيل علي سطح السائل . والشكل التالي يوضح القوي المؤثرة علي قطرة من السائل A الموجودة علي السطح السائل B .



حيث v_A التوتر السطحي للسائل A ، v_B التوتر السطحي للسائل B ، v_{AB} التوتر السطحي بين A , B ولكي تبقى القطرة كما هي فلا بد أن تكون محصلة القوي شعاعياً مساوية للصفر :

$$\vec{v}_{AB} + \vec{v}_A + \vec{v}_B = 0$$

وفي الحالة التي تكون فيها الزاوية α صغيرة جداً (حالة وجود ألفة عالية بين السائلين)

$$v_B \geq v_A + v_{AB}$$

وبالتالي تحدث حالة إنسياب للقطرة A علي سطح السائل B ويكون : $W_a \geq W_c$ حيث W_a طاقة الالتصاق ، W_c طاقة التماسك . مما سبق نستنتج أن الإنسياب يحدث عندما تكون القوي الرابطة بين A , B أقوى من القوي الموجودة داخل السائل ذاته . ويعبر معامل الإنسياب (S) عن الفرق بين طاقة الالتصاق وطاقة التماسك

$$S = W_a - W_c$$

أي أن الطاقة المعطاة في السننتيمتر المربع الواحد أثناء عملية الإنسياب :

$$S = V_B - V_A - V_{AB}$$

وبالتالي فإن الإنسياب يحدث عندما تكون قيمة (S) موجبة . والجدول التالي يبين معامل الإنسياب لبعض السوائل علي سطح الماء عند درجة حرارة 20 م .

البروموفورم CHBr ₃	ثنائي كبريتيد الكربون CS ₂	الأوكتان C ₈ H ₁₈	الهكسان C ₆ H ₁₄	البنزين C ₆ H ₆	الكحول البروبيلي C ₃ H ₇ .OH	السائل
- 9.58	- 6.94	+ 0.2	+ 3.41	+ 8.9	+ 49.1	معامل الإنسياب

ونلاحظ من الجدول السابق أن الهكسان والأوكتان يناسبان علي سطح الماء رغم عدم إمتلاكها لمجموعة هيدروفيلية (محبة الماء) وهذا يرجع الي كون قوي الإلتصاق أكبر من قوي التماسك ومن وجهة أخرى فإن ثاني كبريتيد الكربون والبروموفورم لا يشكلان طبقة سطحية رغم إمتلاكها لمجموعة قطبية وهذا بسبب تفوق قوي التماسك علي قوي الإلتصاق مع الماء أن مثل هذه المركبات تعطي قطرة علي شكل عدسة مستقرة علي السطح أو في قعر الوسط المائي وذلك تبعاً للكثافة .

تأثير المجموعة الوظيفية علي قوي الإلتصاق :

تؤثر المجموعة الوظيفية بشكل ملحوظ علي قوي الإلتصاق بينما تأثيرها محدد علي قوي التماسك وبالتالي فإن مقدار ثبات الطبقة السطحية يعتمد علي نوعية المجموعة الوظيفية الفعالة . والجدول التالي يوضح تصنيف المجموعات الوظيفية الفعالة سطحياً :

المجموعة الوظيفية	طاقة الإلتصاق W_a	طاقة التماسك W_c	معامل الإسياب S	تكوين الطاقة السطحية
-CH ₂ Cl, -NO ₂	متوسطة	مرتفعة	سالب	لا تكون طبقة سطحية
-CH ₂ O.CH ₃ , -COOCH ₃ -C ₆ H ₄ .O.CH ₃	متوسطة	متوسطة أو ضعيفة	موجب	تكون طبقة غير ثابتة
-C ₆ H ₄ .OH, -CN -CONH ₂ , -COOH -NHCO.NH ₂	متوسطة	متوسطة أو متوسطة	سوجب	تكون طبقة ثابتة

سطوح الأجسام الصلبة :

تمتلك الطبقة السطحية للأجسام الصلبة طاقة سطحية عالية إذا ما قورنت بالسطوح السائلة . لذلك تحطيم جسم صلب أو تفتيته يحتاج الي طاقة تكسر الروابط الموجودة داخل الجسم الصلب والتي تشكل قوي التماسك داخل ذلك الجسم . وتتميز الأجسام الصلبة عن السائلة بأن جزيئاتها غير قابلة للحركة الحرة كما هي في حالة السوائل كذلك ليس لديها خاصية تغير سطحها بشكل ذاتي ومن جهة أخرى فإن إعادة تجميع الأجزاء الصلبة التي تم تحطيمها غير ممكنة لأستحالة إجراء تلك الأعادة بشكل دقيق تسمح برجوع كل جزء الي مكانه الأصلي كما كان قبل التحطيم . ولا يمكن في أكثر الأحيان تعريف السطح لجسم صلب تعريفاً دقيقاً لأن السطوح الصلبة غير متجانسة من حيث الجزيئات المشكلة لهذا السطح ، ولذلك فمن الصعب جداً قياس التوتر السطحي للأجسام الصلبة .

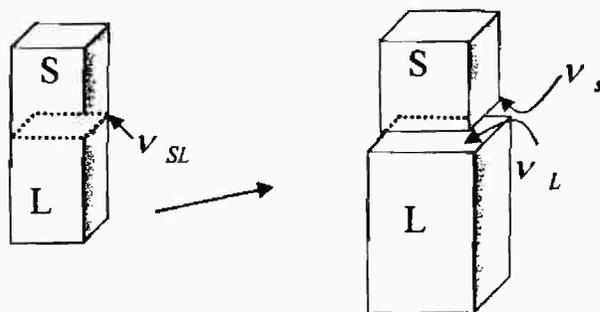
الظواهر السطحية في الأجسام الصلبة :

تشكل قطرة السائل الموضوعة علي سطح جسم صلب ثلاثة أطوار حجمية هي الجسم الصلب وقطرة السائل والهواء المحيط بهما . وتقتصر تلك الأطوار ثلاث سطوح فاصلة هي : السطح الفاصل بين الجسم الصلب والهواء والسطح الفاصل بين الجسم الصلب والسائل (SL) وبين السائل والهواء (L) . ونعبر عن الطاقة السطحية الإضافية منسوبة لوحدة السطوح في كل طبقة من الطبقات السطحية الثلاث بالتوتر السطحي بينهما ، أي التوتر السطحي بين الجسم الصلب والهواء (v_s) ، وبين الجسم الصلب والسائل (v_{SL}) وبين السائل والهواء (v_L) .

قوي التماسك وقوي الالتصاق

تسمى قوي التماسك بقوي الترابط المتجانس نظراً لكونها موجودة داخل الجسم ومتجانسة في طبيعتها . أما قوي الالتصاق فتسمى بقوي الترابط غير المتجانس لكونها تربط بين جزيئات في طورين مختلفين (صلب - سائل ، أو صلب - غاز) . ويعرف الشغل اللازم لفصل جسم سائل عن جسم صلب مساحة مقطعه 1 سم² بشغل الالتصاق ، وهو الشغل اللازم لتحطيم الروابط القائمة بين الطورين علي مساحة قدرها 1 سم² . وإثناء إجراء عملية فصل السائل عن الصلب (مقطعه 1 سم²) يتولد سطحان فاصلان هما السطح الفاصل سائل - هواء وكذلك السطح الفاصل صلب - هواء ، بينما يختفي السطح الفاصل صلب - سائل شكل (7) . إذاً فإن شغل الالتصاق يعطي بالعلاقة التالية :

$$(W_a)_{SL} = v_L + v_s - v_{SL}$$



شكل (7) فصل الجسم الصلب عن السائل لعمود مقطعه 1 سم²

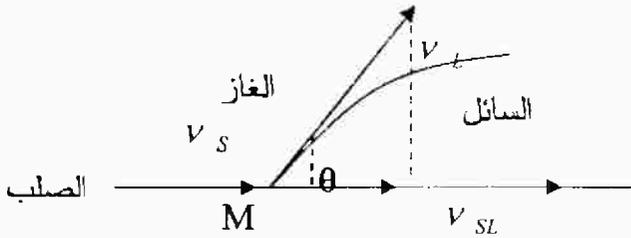
أما طاقة التماسك للجسم فإنها تمثل الشغل اللازم لفصل عمود مقطعه (1 سم²) من مادة سائسة أو صلبة الي جزيئين . فإذا كان لدينا عمود من مادة سائسة مقطعه 1 سم² فإن طاقة التماسك (شغل التماسك) تعطي بالعلاقة التالية :

$$(Wc)_{LL} = 2 \dots\dots\dots (1)$$

وذلك لكون الشغل المبذول لفك الروابط القائمة داخل الجسم السائل قد أنتج سطحين متساويين بين السائل والهواء .

زاوية التماس وزاوية التبلل

لنفترض وجود قطرة من سائل علي سطح أفقي لجسم صلب (شكل 8) نلاحظ وجود ثلاثة أطوار (سائل - صلب - غاز) وثلاثة سطوح فاصلة (سائل - غاز ، سائل - صلب ، صلب - غاز)



شكل (8) قطرة من سائل علي سطح أفقي صلب

إن القوي المؤثرة في النقطة M تمثل التوترات السطحية المختلفة ويمكن إعطاء محصلتها في العلاقة التالية :

$$v_s - v_{sl} - v_l \cos \theta = 0 \dots\dots\dots (2)$$

حيث تمثل $v_l \cos \theta$ مسقط القوة v_l علي السطح الأفقي بينما تمثل الزاوية θ زاوية لتبلل (أو التماس) . تعرف العلاقة السابقة بعلاقة يونج .

بتبديل قيمة $v_{SL} - v_S$ في العلاقة (1) بما يساويها في العلاقة (2) نحصل على علاقة تعطي عمل الالتصاق بدلالة التوتر السطحي للسائل وزاوية التبلل :

$$(Wa)_{SL} = v_L (1 + \cos \theta) \quad \dots \dots \dots (3)$$

وبالتالي تصبح قيمة ذلك العمل قابلة للقياس التجريبي .

نستنتج من العلاقة (3) أن عمل الالتصاق يزداد بتناقص قيمة زاوية θ أي أن السائل الذي لا يبيل سطح الجسم الصلب يظل على شكل قطرات على السطح ، بينما يسيل السائل ذو الألفة العالية للجسم الصلب على سطحه ويغطيه بطبقة رقيقة الي أن تصبح زاوية التبلل معدومة ($\theta = 0$) .

يمكن تصنيف الألفة بين السائل والصلب طبقاً للحالات التالية :

(أ) - حالة إنعدام التبلل $\theta = 180^\circ$

عندما تكون $\theta = 180^\circ$

فإن $\cos \theta = -1$ وبالتالي فإن :

$$(Wa)_{SL} = 0$$

وهذا يعني إنعدام شغل الالتصاق نتيجة إنعدام الروابط بين الجسم السائل والجسم الصلب ، أي استحالة تبلل السائل لسطح الجسم الصلب (مثال : الزئبق النقي على سطح الزجاج النقي) .

(ب) - حالة تبلل كامل $\theta = 0$

أي $\cos \theta = 1$ مما يعطي :

$$(Wa)_{SL} = 2v_L = Wc$$

تمثل هذه الحالة تساوياً بين شغل الالتصاق وشغل التماسك وهي حالة مثالية توافق إنتشار كاملاً وسريعاً للمادة السائلة على سطح الجسم الصلب وتحدث قوي إرتباط بين جزيئات السائل من جهة وجزيئات الجسم الصلب من جهة أخرى مكافئة للقوي الرابطة بين جزيئات السائل ذاتها .

(ج) - حالة تبلل $180^\circ > \theta > 0^\circ$

عندما تكون θ أكبر من 90° وأصغر من 180° فإنها تمثل حالة تبلل ضعيفة ،
بينما إذا كانت تقاس الزاوية θ أصغر من 90° فإنها تمثل حالة تبلل جيدة .
تقاس الزاوية θ بطريقتين :

الطريقة الأولى : بطريقة مباشرة وذلك باستعمال الإسقاط الأشعاعي للقطرة علي شاشة ضوئية ومن ثم قياس الزاوية θ .

الطريقة الثانية : بطريقة غير مباشرة وذلك بغمس صفيحة من الجسم الصلب في السائل ، وإمالة تلك الصفيحة إلي أن نحصل علي جانب منها ينعدم إلتواء السائل في نقطة تماسه مع الجسم الصلب تكون الزاوية θ في تلك الشروط هي الزاوية الفاصلة بين سطح الجسم الصلب والسطح الأفقي للسائل من الجهة الداخلية للسائل . ويعطي الماء النقي مع سطح الزجاج النقي زاوية تبلل معدومة ($\theta = 0$) ، ولكن إرتفاع قيمة قيمة الزاوية θ يعود علي عدم نقاؤه الماء أو الزجاج .

عملية التبلل :

تعرف عملية التبلل بأنها إزاحة الطور الغازي الملامس لسطح الجسم الصلب وتعويضه بطور سائل بحيث تحل جزيئات الجسم السائل سطح الجسم الصلب .
ويمكن أن تتم تلك الإزاحة بثلاث طرق مختلفة هي :-

1- تبليل السطح الصلب بوضعه علي سطح سائل بحيث يتلامس إحدي وجوه السطح الصلب مع السائل .

2- التبلل بالتمدد : وتتم العملية بوضع المادة السائلة علي سطح الجسم الصلب وإنتشارها عليه .

3- التبلل بغمر الجسم الصلب داخل الطور السائل .

يكون للتبلل قيمة عملية إذا كانت زاوية التبلل أقل من 90° ، ويحث أثناء عملية التبلل إنسياب للمادة السائلة علي سطح الجسم الصلب وتشكيل طبقة سمكها عدد من الجزيئات

، وبالتالي يتكون سطح فاصل بين الطورين يتمتع بتوتر سطحي قدرة v_{SL} . ويمكن عندئذ تطبيق علاقة يونج في حالة الإتزان :

$$v_S - v_{SL} = v_L \cos \theta$$

أما معامل الإنسياب فيعطي بالعلاقة التالية :

$$S = v_{SL} - v_{SL} - v_{SL} = (W_a)_{SL} - (W_c)_{LL}$$

الإمتزاز

عند تلامس جسم صلب مع غاز أو محلول نلاحظ أن جزيئات الغاز تتركز أي يزداد تركيزها بالقرب من سطح الجسم الصلب . ويعرف الإمتزاز بأنه زيادة تركيز المادة عند السطح الذي يفصل صنفين وتنشأ هذه الزيادة في التركيز بالقرب من سطح الجسم الصلب نتيجة قوي غير متوازنة تؤثر علي جزيئاته الموجودة في السطح والجسم الصلب يمتز الغاز عندما يكون ملامساً له . ذلك لأن الطاقة الحرة لأي سطح تميل الي النقصان ويعتبر هذا الميل هو المسؤول الأساسي عن ظاهرة الإمتزاز وتسمى المادة التي يزيد تركيزها علي السطح بالمادة الممتزة أما المادة الأخرى التي تمتز الجزيئات علي سطحها فتسمى المادة المازة .

ويصحب عملية الإمتزاز عادة نقصان في الطاقة الحرة (ΔG) للسطح الذي يحدث عليهما يرافقه نقص في الأنتروبي (ΔS) لأن الجزيئات التي تعاني الإمتزاز تصبح مقيدة بسبب إرتباطها بذرات السطح وبذلك تفقد بعض درجات حريرتها قياساً بالحالة التي كانت عليها قبل الإمتزاز .. كما يترتب علي تناقص (ΔG) و (ΔS) في وقت واحد تناقص المحتوى الحراري ΔH بموجب العلاقة التيرموديناميكية التي تربط الكميات الثلاث معاً في درجة حرارة معينة T .

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

تجربة توضح إمتزاز الغازات بالأجسام الصلبة :-

تتلخص هذه التجربة في وضع وضع أنبوبة بارومترية مملوءة بالزئبق في حوض به زئبق ثم إدخال قطرات من النشادر السائل تعلق فوق الزئبق إلى أسفل ثم إدخال قطعة من الفحم المسخنة حديثاً نلاحظ أن عمود الزئبق قد ارتفع الي أصله مرة ثانية .. مما يدل علي أن الفحم قد إمتز النشادر الموجود داخل الأنبوبة ويسمي النشادر بالمادة الممتزة ويسمي الفحم بالمادة المازة .

أنواع الإمتزاز :-

1- الإمتزاز الطبيعي (الفيزيائي) :

تعد سطوح بعض المواد خاملة في عملية الإمتزاز بسبب التشبع الإلكتروني لذراتها وذلك نتيجة للروابط التي ترتبط بها تلك الذرات المجاورة للمادة بنفسها يتم الإمتزاز علي مثل هذه السطوح من خلال قوي التجاذب الطبيعي يدعي هذا النوع من الإمتزاز بالإمتزاز الطبيعي مثل قوي فاندرفالس

2- الإمتزاز (الكيميائي) :

هناك سطوح كثيرة تعد نشطة في عملية الإمتزاز لأمتيازها بعدم تشبع ذراتها إلكترونياً وتبقي ذرات السطوح غير مشبعة إلكترونياً رغم الروابط التي تكونها مع الذرات المجاورة وتميل مثل هذه السطوح الي تكوين روابط كيميائية مع الذرات أو الجزيئات التي يتم أمتزازها علي السطح ويكثر حدوث مثل هذا النوع من الإمتزاز علي سطوح المادة الصلبة .

3- الفرق بين الإمتزاز الفيزيائي والإمتزاز الكيميائي :

الإمتزاز الكيميائي	الإمتزاز الفيزيائي
حرارة الإمتزاز أكبر من 80 كيلو جول/مول	حرارة الإمتزاز أقل من 40 كيلو جول/مول
يحدث الإمتزاز عند درجات الحرارة المرتفعة	الإمتزاز يكون ملحوظاً في درجات حرارة أقل من درجة غليان المادة الممتزة
تزداد كمية الإمتزاز مع كل زيادة في ضغط المادة الممتزة	تزداد كمية الإمتزاز مع كل زيادة في ضغط المادة الممتزة
تعتمد كمية الإمتزاز علي طبيعة المادة الممتزة والمادة الممتزة	تعتمد كمية الإمتزاز علي طبيعة المادة الممتزة أكثر من اعتمادها علي المادة الممتزة
طاقة التنشيط لها قيمة كبيرة في عملية الإمتزاز	عملية الإمتزاز لا تشمل علي كمية كبيرة لطاقة التنشيط
يتكون الإمتزاز من طبقة واحدة	يتكون إمتزاز عديد الطبقات

منحنيات الإمتزاز :

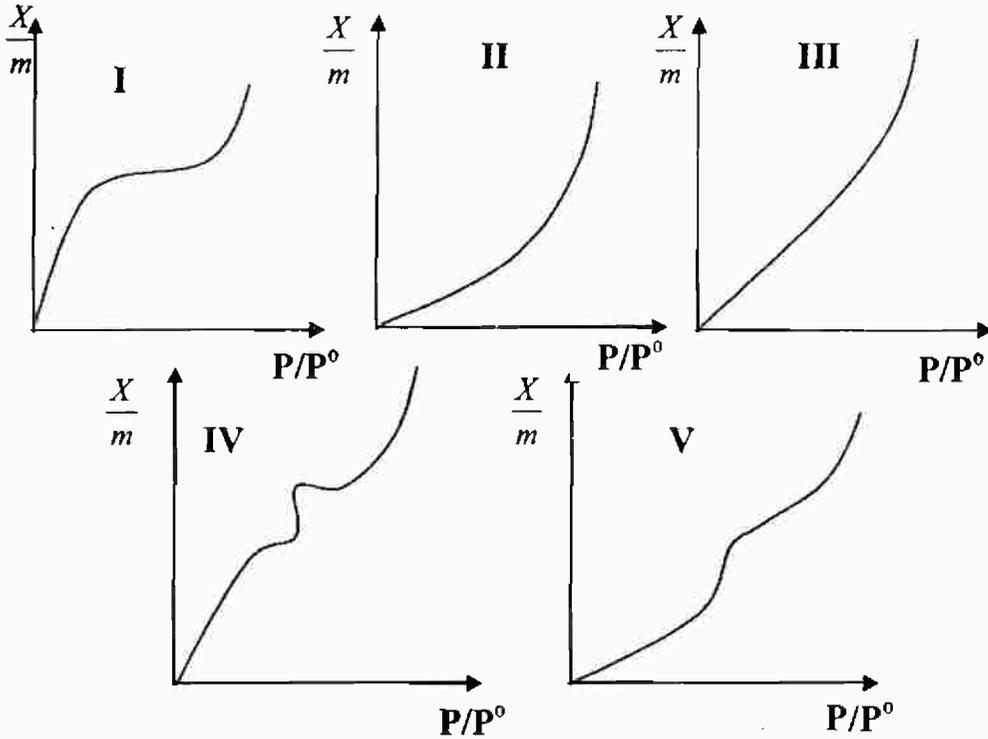
تعتمد كمية الإمتزاز أساساً علي طبيعة المادة الصلبة الممتزة وكذلك علي طبيعة جزيئات الغاز الممتزة وتعتبر أيضاً دالة في الضغط (أو التركيز) ودرجة الحرارة وعندما يكون إمتزاز الغاز عند درجة حرارة تقل عن درجته الحرجة فإنه يمكن رسم العلاقة بين كمية الغاز الممتز لكل جرام من المادة الممتزة مع ضغط الغاز ويسمى هذا المنحني بالإمتزاز وتوجد خمسة أنواع لمنحني الإمتزاز :

النوع الأول : ويمثله المنحني الأول . حيث تتكون طبقة سطحية وحيدة الجزيئة ممتزة علي سطح جسم صلب غير مسامي أو نو مسامات دقيقة جداً مما يؤدي الي أن السرعة الأولية للإمتزاز تكون كبيرة جداً وبالتالي يحدث الإتزان بسرعة وتثبت الكمية الممتزة رغم ارتفاع قيمة ضغط الغاز المحيط بالجسم الصلب .

النوع الثاني: ويمثله المنحني الثاني ويكون الإمتزاز علي سطح المادة الصلبة ضعيفة المسامية أو كبيرة المسامية جداً . حيث تتكون طبقة وحيدة الجزيئية وبعدها طبقات أخرى حيث تزداد الكمية الممتزة بزيادة الضغط .

النوع الثالث: ويمثله المنحني الثالث . حيث تكون السطوح غير متجانسة ولكن بها مراكز نشطة تعمل علي تجمع ذرات الغاز الممتز وبالتالي لا تظهر طبقة وحيدة الجزيئية .

النوع الرابع: ويمثله المنحني الرابع ويتشابه في جزئه الأول مع النوع الثاني وكذلك الجزء الأول من النوع الخامس يتشابه مع النوع الثالث . ولكن هناك إختلاف شديد في الجزء الثاني لكل منهما . والأشكال هي كما يلي :



نظريات الإمتزاز

أولاً : الإمتزاز ذو الطبقة الواحدة

- نظرية لانجمير :-

أعتبر أن سطح المادة المازة الصلبة يتكون من مساحات صغيرة متجاورة (أو فراغات) كل منها يمكن أن يمتز جزيء واحد من الغاز . كذلك تتشابه هذه المساحات (أو الفراغات) في مقدرتها علي أمتزاز جزيئات الغاز ، ولا يؤثر وجود أحد جزيئات الغاز علي أحد هذه الفراغات في خواص الفراغات المجاورة له . وعند الإتزان ، فإن معدل تبخر جزيئات الغاز الممتزة علي الفراغات يتساوي مع معدل تكثيف جزيئات الغاز علي الفراغات الفارغة أو غير المحتلة بجزيئات من الغاز .

ولإستنتاج معادلة لانجمير :

نفرض أن θ هو جزء السطح المشغول بجزيئات الغاز فإن $r \theta$ هو معدل التبخير أو الهروب من هذا السطح ، حيث r هو معدل التبخير من السطح المشغول كلية بجزيئات الغاز عند درجة حرارة معينة . ولكن معدل الإمتزاز يتناسب مع جزء السطح الخالي من جزيئات الغاز ($1 - \theta$) ويتناسب أيضاً مع ضغط الغاز P . لذلك يمكن التعبير عن معدل التكايف $K (1 - \theta) P$

حيث K هو مقدار ثابت عند درجة حرارة معينة ، ويشمل هذا الثابت علي معامل يتضمن حقيقة أنه ليس كل جزيء يصطدم بالسطح الفارغ يمكنه أن يمتز فوقه . وعند الوصول إلي حالة الإتزان يتساوي معدل التبخير مع معدل التكايف

$$r \theta = K (1 - \theta) P$$

$$\therefore \theta \frac{K_p}{r + K_p} = \frac{(K/r)p}{1 + (K/r)p}$$

حيث θ هو جزء السطح المشغول بجزيئات الغاز .

- معادلة فريندلش :-

تعتبر معادلة فريندلش معادلة نظرية ، وأكثر توفيقاً عن معادلة لانجمير في شرح وتفسير النتائج العملية وليس لتفسير ميكانيكية الإمتزاز

$$V = K P^{1/n}$$

حيث V هو الحجم الممتز .

P هو ضغط الغاز عند حالة الإتزان .

n , K ثوابت .

وتصف هذه المعادلة النوع الأول فقط من منحنيات الإمتزاز ويمكن التعبير عن التمثيل الخطي لهذه المعادلة :

$$\text{Log } V = \text{Log } K + \frac{1}{n} \text{Log } P$$

ثانياً : الإمتزاز عديد الطبقات

- نظرية الجهد (بولاني) :

تفترض هذه النظرية وجود قوي بعيدة المدى منبثقة من سطح المادة المازة الصلبة وتتسبب هذه القوي في إمتزاز طبقات رقيقة ذات سمك مساو لعدد من أقطار جزيئات الغاز الممتز وحيث أن هذه القوي المتسببة في جذب الجزيئات الي السطح تتناقص إذا بعدت المسافة عن السطح فإن الطبقات الرقيقة الممتزة تبدو كأنها واقعة تحت تأثير ميل في الجهد وفي هذه النظرية يتم تشبيه السطح الصلب للمادة والطبقة الممتزة فوقه مثل الكرة الأرضية والمجال المحيط بها .

ومن فروض هذه النظرية أيضاً أن الإمتزاز يحدث بقوي التجاذب بين السطح والطبقة الأولى التي يحدث بينها وبين الطبقة الثانية قوي تجاذب أيضاً ، وهكذا حتي تصل الي درجة من الضغط مثل القوي بين جزيئات الغاز المحيط بالسطح فيبطل الإمتزاز .

ويمكن قياس قوي التجاذب عند أي نقطة في الطبقة الممتزة والذي يعرف بأنه الشغل المبذول بواسطة قوي الإمتزاز اللازمة لإحضار جزيء من الحالة الغازية في الوسط المحيط الي هذه النقطة

- نظرية الإستقطاب :

تفترض هذه النظرية أن سطح المادة المازة يحدث أقطاباً مزدوجة في الطبقة الأولى من الجزئيات الممتزة ، وهذه الأقطاب بالتبعية تحدث هي الأخرى أقطاباً جديدة في الطبقة الممتزة الثانية وهكذا . ويتناقص عزم الأقطاب الحادثة بزيادة عدد الطبقات الممتزة حتي يتلاشي فيبطل الإمتزاز

- نظرية التكايف في الأنابيب الشعرية :

في هذه النظرية يتكون سطح المادة المازة من عنبر من أنابيب الشعرية الدقيقة ، والتي عند تعرضها لبخار سائل أو غاز فإن جزئيات البخار أو الغاز تتكايف داخل هذه الأنابيب الشعرية الدقيقة تحت تأثير ضغط أقل من الضغط البخاري المشبع . والمعادلة التالية تعطي العلاقة بين التكايف ونصف قطر الأنبوبة الشعرية .

$$\frac{P}{P_0} = \frac{2 \gamma}{r P_0}$$

حيث P_0 هو الضغط البخاري المشبع .

r نصف قطر الأنبوبة الشعرية .

R هو الثابت العام للغازات .

v هو التوتر السطحي للسائل .

V هو الحجم الجزئي .

- نظرية بروناور - أيमित - تيلور (B . E . T) :

يمكن تطبيق هذه النظرية في حالة الإمتزاز الفيزيائي لجزيئات الغاز أو البخار الي عدد من الطبقات وقد أستنتج بروناور - أيमित - تيلور (B . E . T) معادلة لتوضيح الإمتزاز متعدد الطبقات وتفترض هذه النظرية تكون السطح من مراكز متجانسة ومتجاورة ، وأن الإمتزاز علي أحد هذه المراكز لا يؤثر علي الإمتزاز علي المراكز المجاورة وذلك كما في نظرية لانجمير . وخلافاً لنظرية لانجمير فإن النظرية تفترض أنه عندما تتكون طبقة أولي تغطي جميع السطح فإن التكايف يحدث لتتكون طبقة ثانية وثالثة وهكذا حتي عديد الطبقات .
ومعادلة B E T هي :

$$\frac{P}{V(P_o - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)}{V_m C} \frac{P}{P_o}$$

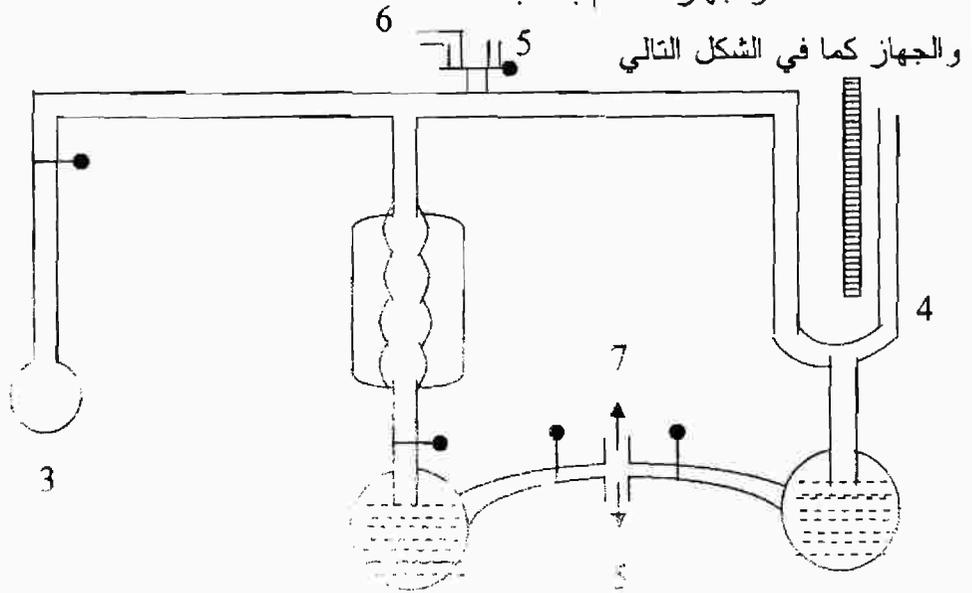
حيث أن : V_m حجم الغاز الممتز عندما يتغطي سطح المادة المازة بطبقة واحدة كاملة
 V هو الغاز الممتز
 C مقدار ثابت عند درجة حرارة معينة
وتعطي هذه المعادلة علاقة خطية بين :

$$\frac{P}{P_o} \quad \text{و} \quad \frac{P}{V(P_o - P)}$$

ويكون ميل الخط المستقيم هو $\frac{(C-1)}{V_m C}$ والجزء المقطوع من محور الصادات هو $\frac{1}{V_m C}$ وتستخدم معادلة B . E . T لقياس مساحة السطح للعوامل الحفازة الصلبة ، وللمواد المازة الصلبة عامة ، وهذه الطريقة دقيقة جداً في تعيين قيمة مساحة السطح ، وذلك بمعرفة مساحة السطح التي يشغلها الجزيء الواحد من المادة الممتزة وهذا يسهل معرفته بقياس كثافة المادة الممتزة في حالتها السائلة . ويتألف جهاز B . E . T من الأجهزة التالية :

1- جهاز لحفظ النيتروجين السائل .

- 2- أنبوب لقياس غاز النيتروجين .
- 3- ورق لوضع عينة الجسم المراد قياس مساحته سطحه .
- 4- جهاز لقياس الضغط .
- 5- فتحات نحو مضخة التفريغ .
- 6- فتحة نحو أسطوانة النيتروجين الغاز .
- 7- فتحة نحو جهاز التحكم بالضغط .



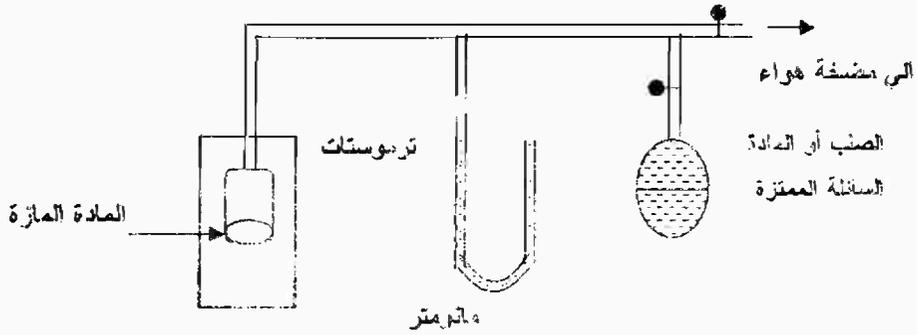
طرق قياس الإمتزاز

أولاً : الطريقة الحجمية :- يستخدم جهاز كما هو مبين فيما يلي حيث يدخل في هذا الجهاز كمية معينة موزونة من المادة المازة الصلبة ، ويقاس ضغط الغاز أو البخار الموجود في الجهاز بداية وقبل بداية الإمتزاز ثم يقاس الضغط مرة أخرى بعد تمام الإمتزاز وحيث أن الإمتزاز يتم بسرعة شديدة ، فإن التغيير في الضغط يكون ملحوظاً في فترة وجيزة من الزمن . ومن معرفة حجم الفراغ في الجهاز المشغول بالغاز والفراغ غير المشغول بالغاز يمكن معرفة حجم الغاز الممتز من قوانين الغازات

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

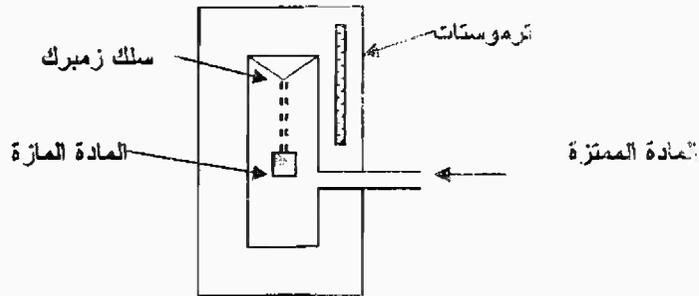
قبل حدوث الإمتزاز

وبعد حدوث الإمتزاز يكون : $P_1 V_1 \neq P_2 V_2$



ثانياً : الطريقة الوزنية :

في هذه الطريقة يقاس الإمتزاز مباشرة . وفيه يشمل الجهاز علي وعاء صغير يحتوي علي المادة المازة ، ويتصل هذا الوعاء بسلك زنبرك وعند دخول الغاز أو البخار المراد إمتزازه يتمدد الزنبرك ومن هذا التمدد يمكن معرفة الزيادة في الوزن التي تقابل كمية الإمتزاز كما في الشكل التالي



أمثلة لبعض المواد المازة :

1- الفحم الحيواني :

ويسمي فحم العظام ويستخدم في عملية تكرير السكر ويحضر فحم العظام من عظام الحيوانات بعد إزالة الأنسجة والدهون منها ثم تكسر العظام وتسخن بمعزل عن الهواء عند درجة حرارة 750 - 950 م° لعدة ساعات .

2- الفحم النباتي :

يعتبر الفحم النباتي مادة مازة جيدة للغازات ، ويستخدم في تنقية الخل ، وسكر القصب وتنقية الماء وفي صنع الكمامات اللازمة للوقاية من الغازات السامة .

3- الألومينا :

عبارة عن أكسيد الألمونيوم وجزئيات الماء ويستخدم كثيراً مع عوامل أخرى مثل الماغنيسيا (أكسيد الماغنسيوم) في صناعة البترول .

4- جل السيليكا :

جل السيليكا شائع الاستخدام في الصناعة وتعتمد كمية الإمتزاز على كمية جزئيات الماء الموجودة فيه وعند تسخينه فإنه يفقد الماء . وصيغته $SiO_2 \cdot XH_2O$.

" أمثلة محلولة "

مثال (1) :

التوتر السطحي للزئبق السائل الملامس للهواء عند درجة 15 م° يساوي 4 واين سم⁻¹ احسب الضغط السطحي في أنبوبة شعرية قطرها 1 مم موجود أحد طرفيها في الزئبق.

الحل :

$$\Delta P = 2 \nu / r$$

حيث ΔP هي الضغط السطحي ، r نصف قطر الأنبوبة

$$\Delta P = \frac{2 \times 487}{0.05} = 19480 \text{ واين . سم}^{-1}$$

مثال (2) :

يرتفع الماء في أنبوبة شعرية نصف قطرها 0.1 مم بمقدار 14.85 سم عند درجة 20 م . احسب التوتر السطحي إذا علمت أن الزاوية θ عند الصفر .

الحل :

$$\nu = \frac{h.d.g.r}{2 \cos \theta}$$

حيث h هي ارتفاع الماء في الأنبوبة الشعرية و d الكثافة النوعية للماء و g عجلة الجاذبية الأرضية و r نصف قطر الأنبوبة الشعرية .

$$\nu = \frac{14.85 \times 0.01 \times 1 \times 981}{2} = 72.8 \text{ واين . سم}^{-1}$$

مثال (3) :

احسب ارتفاع الماء في أنبوبة شعرية قطرها 10 ميكرون مع العلم أن الزاوية θ تساوي الصفر عند درجة 20 م° . علماً بأن التوتر السطحي يساوي 72.8 داين . سم⁻¹

الحل :

إذا كانت قيمة v تساوي 72.8 دايين . سم⁻¹

$$v = \frac{h.d.g.r}{2} = \frac{h \times 5 \times 10^{-4} \times 1 \times 981}{2} = 72.8$$

$$h = 296.84 \text{ سم}$$

∴ ارتفاع الماء = 296.84 سم .

مثال (4) :

إذا كان إمتزاز مادة ما علي سطح صلب لمعادلة فريندليش وكانت $K = 6.8$ و $n = 0.5$ وذلك في حالة التعبير عن التركيز بالميلي مول في ميليمتر ، وعن الكمية الممتزة بوحدات الميلي مول لكل جرام من الجسم الصلب. إحسب تركيز المادة النحلة عند الإتران في حالة وجود 10 من الجسم الصلب ضمن 100 مل من محلول المادة القابلة للإمتزاز والتي تركيزها الأولي هو 0.1 مول / لتر .

الحل :

معادلة فريندليش هي :

$$X / m = K C_e^n$$

تحسب كمية المادة الممتزة إعتماًداً علي التراكيز :-

$$X (C_o - C_e) \times 100 \quad \text{كمية المادة الممتزة (ميلي مول)}$$

$$\frac{X}{m} = \frac{(0.1 - c_e) \times 100}{10} = \frac{(0.1 - c_e)}{0.1} = 6.8 C_e^{0.5}$$

ومنه فإن :

$$C_e + 0.68 C_e^{0.5} - 0.1 = 0$$

وبحل هذه المعادلة نجد أن قيمة التركيز عند الإتران هو :

$$C_e = 0.0155 \quad \text{ميلي مول / ميلي ليتر}$$

مثال (5) :

في الجدول التالي حجم غاز البيوتان علي جسم صلب بدلالة ضغط الغاز

187.46	179.30	156.61	125.22	89.47	56.39	P
28.3	27.78	26.09	23.74	20.62	17.09	V

فإذا كان وزن الجسم الصلب 1.876 جم ، وأن حجوم الغازات قد قيست عند الظروف القياسية وأن ضغط التميع P^0 للغاز يعادل 774.4 مم زئبق إحسب مسافة سطح الجسم الصلب بطريقة B . E . T

الحل :

$$\frac{P}{V(P^0 - P)} = \frac{1}{C.V_m} + \frac{C-1}{CV_m} \frac{P}{P}$$

حيث P ضغط الغاز و P^0 ضغط التميع و V حجم الغاز الممتز و V_m حجم الغاز اللازم لتكوين طبقة وحيدة الجزيئية علي سطح الجسم الصلب وعند رسم $P / V (P^0 - P)$ بدلالة P / P^0 علي خط مستقيم ميله $\frac{C-1}{CV_m}$ ونقطة تقاطعه هي

$$1 / C V_m \quad \text{ومن القيمتين السابقتين نحصل علي قيمة } V_m = 24.51 \text{ مل}$$

$$\therefore S' = \frac{am.V_m.N}{22400}$$

حيث N عدد أفوجادرو و am السطح الموجود علي جزيء واحد (44.6 \AA)

$$\therefore S' = \frac{24.51 \times 10^{23} \times 6.023 \times 10^{-20} \times 44.6}{22400} = 293.8 \text{ م}^2$$

$$S = \frac{293.8}{1.876} \text{ جم / م}^2 = 156.6$$

" الأسئلة "

- 1- تكلم بإيضاح عن التوتر السطحي ؟
- 2- إشرح العلاقة بين التوتر السطحي ودرجة الحرارة ؟
- 3- وضح بالشرح والمعادلات الخاصية الشعرية
- 4- أذكر بالتفصيل الطرق المختلفة لقياس التوتر السطحي ؟
- 5- بين بالشرح والمعادلات مع الرسم الطاقة السطحية ؟
- 6- بين كيف يمكن تكوين طبقة وحيدة الجزيء علي سطح سائل ؟
- 7- أكتب مذكرات وافية عن :
 - أ - سيلان سائل علي سطح سائل آخر .
 - ب- تأثير المجموعة الوظيفية علي قوي الإلتصاق وقوي التماسك .
- 8- " من أهم الظواهر السطحية في الأجسام الصلبة نجد قوي الإلتصاق وقوي التماسك " أشرح العبارة السابقة شرحاً وافياً مع الرسم والمعادلات ؟
- 9- تكلم بالتفصيل عن زاوية التماس أو زاوية التبلل ؟
- 10- تكلم عن أنواع الإمتزاز ثم بين الفرق بين الإمتزاز الكيميائي والإمتزاز الفيزيائي ؟
- 11- وضح بالشرح والتفصيل أنواع منحنيات الإمتزاز
- 12- أذكر بالتفصيل كل من نظريتي لانجمير ومعادلة فريندلش ؟
- 13- وضح مع الرسم نظرية برونادر - أيميت - تيلور ؟
- 14- " من طرق قياس الإمتزاز الطريقة الحجمية " أشرح العبارة السابقة شرحاً وافياً.
- 15- أذكر مع الشرح بعض المواد المازة ؟