الفصل التاسع

التوتـــر السطحـى (الظاهرة السطحية)

أولاً: أسئلة و إجاباتها

- التوتر السطحي
- زاوية التماس وقابلية السائل علي بلل الصلب
- حساب قيمة «γ» للسائل
- تأثير درجة الحرارة علي الشد السطحي لسائل
- الباراكور
- الامتزاز علي سطوح السوائل
- امتزاز الغازات علي الأسطح الصلبة
- أيزوثيرمات الامتزاز
- معادلة «لانجماير» للامتزاز
- معادلة B. E. T
- الامتزاز من المحاليل
- التطبيقات

ثانياً: مسائل وحلولها

ثالثاً: أسئلة عامة (غير مجاب عنها)

رابعاً: مسائل عامة (غير محلولة).

obeikandi.com

obeikandl.com

أولاً: أسئلة و إجاباتها

التوتر السطحى

س: عرف التوتر السطحي؟

جـ: الشغل اللازم لزيادة مساحة السطح بمقدار ١ سم٢ يساوى التوتر السطحى ويعبر عنه بواحدات إرج/سم٢ أو داين/سم. ويعرف أيضاً بإنه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة الأطوال من سطح السائل.

س: اكتب ما تعرفه عن معادلة دوبريه؟

جـ: إذا اعتبرنا سائلاً A يتلامس مع سائل آخر B وذلك فى عمود مساحة مقطعة ١ سم٢ فإن الشغل اللازم لفصل السائلين عن بعضهما يساوى الفرق بين طاقات السطح الحرة قبل الفصل وبعد الفصل ويسمى شغل التلاصق:

Work of adhesion $W_{AB} = (\gamma_A + \gamma_B) - \gamma_{AB}$

وتسمى هذه المعادلة معادلة دوبريه

زاوية التماس وقابلية السائل على بلل الصلب

س: اشتق معادلة يانج Young ثم وضح استخدام المعادلة في تفسير ظاهرة بلل السوائل لأسطح الصلب؟

جـ: شغل التلاصق بين صلب وسائل يمكن التعبير عنها بالاستعانة بمعادلة دوبريه كما يلى:

$$W_{LS} = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{LS} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

وحيث إنه يصعب قياس كل من γ_S , γ_L فيمكن التخلص منهما. فيفرض أن سائل L على سطح صلب S بزاوية تلامس قدرها θ فتكون القوى الثلاث المتواجدة هى , γ_L ,γ_{LS} γ_S وعند الاتزان، تكون

$$\gamma_S = \gamma_L + \gamma_L (\cos \theta) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

بجمع المعادتين (1)، (2) يمكن التخلص من γ_S , γ_L والحصول على العلاقة التالية:

$$W_{LS} = \gamma_L (1 + \cos \theta) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

وتعرف المعادلة رقم (3) بمعادلة يانج **Young's equation** فإذا كانت θ أقل من 90°C فإن شغل التلاصق يكون أكثر من نصف قيمة شغل التماسك وتكون قوة جذب الصلب للسائل أكثر من نصف قوة جذب السائل لنفسه ويحدث البلل فإذا وصلت θ إلى الصفر فإن $W_{LS} = 2\gamma_L$ ويكون زواية التماس للسوائل التى لاتبلل الأسطح حيث تصل قيمة θ إلى 180°C.

حساب قيمة «γ» للسائل

س: اشرح طريقة تعيين الشد السطحي لسائل؟

جـ: يمكن تعيين التوتر السطحى لسائل بطريقة الارتفاع فى الأنابيب الشعرية كما يلى: عند وضع أنبوبة شعرية نصف قطرها r عمودياً فى السائل يكون الفرق فى الضغط فى داخل الأنبوبة أقل من الضغط فى الخارج بما يساوى $\frac{2\gamma}{r}$ وهذا بسبب أندفاع السائل فى الأنبوبة الشعرية وعند الوصول إلى حالة الاتزان يتساوى الضغط الناتج من عمود السائل مع الضغط نتيجة الشد السطحى و نحصل على العلاقة:

$$h\left(d - d'\right)g = \frac{2\gamma}{r}$$

وبإهمال 'd (كثافة البخار) نحصل على

$$\gamma = 1/2\ hrdg$$

حيث γ = الشد السطحى

h = طول عمود السائل

r = نصف قطر الأنبوبة الشعرية

g = عجلة الجاذبية الأرضية

d = كثافة السائل

تأثير درجة الحرارة على الشد السطحى لسائل

س: اكتب العلاقات بين الشد السطحي ودرجة الحرارة؟

جـ: وضح أتفوس العلاقة التالية وذلك للربط بين طاقة السطح الجزيئية والشد

السطحى كمايلى:

$$\gamma(Mv)^{2/3} = \gamma\left(\frac{M}{d}\right)^{2/3} = K\,(t_c - t)$$

حيث إن قيمة $\gamma\left(\frac{M}{d}\right)^{2/3}$ أو $\gamma(Mv)^{2/3}$ هى طاقة السطح الجزيئية، K ثابت التناسب، t_c هى درجة الحرارة الحرجة، t درجة الحرارة المقاسة.

وقد أوضح رمزى وشيلدز أن التوتر السطحى للسائل تصل قيمته إلى الصفر عند درجة حرارة تقل عن درجة الحرارة الحرجة بستة درجات تبعاً للعلاقة التالية:

$$\gamma\,(MV)^{2/3} = K\,(t_c - 6 - t)$$

وبرسم العلاقة بين $\gamma\,(MV)^{2/3}$ ، t نحصل على خط مستقيم ميله هو K وقد وجد أن قيمة K لعدد من السوائل غير القطبية تصل إلى 2.1 وتعرف بمعامل درجة الحرارة لطاقة السطح الجزيئية.

وقد توصل كل من ڤان درڤال وكاتاياما إلى علاقة عامة هى:

$$\frac{\gamma^{1/4}}{D - d} = C$$

حيث (C) ثابت مميز لكل سائل.

الباراكور

س/ عرف الباراكور ثم اكتب المعادلة المستخدمة في تعيين الباراكور لسائل ما؟

جـ/ يعرف الباراكور بإنه الحجم الجزيئى للمادة عندما تصل قيمة الشد السطحى إلى الوحدة. فتكون مقارنة الباراكورات للمواد المختلفة ما هى إلا مقارنة للحجوم المولارية لتلك المواد عند ظروف من الشد السطحى المتساوى والمعادلة المستخدمة فى حساب الباراكور هى:

$$\frac{M}{D}\gamma^{1/4} = P$$

و الباراكور هى خاصية تجمعية بمعنى أن قيمتها لمادة معينة تكون عبارة عن القيمة لذرات الجزئ وروابطه.

س: عرف الامتزاز؟

جـ: عند سطوح السوائل والأجسام الصلبة تكون القوى الجزيئية {الجزيئات أو الذرات الموجودة على السطح} تكون هذه القوى غير مكتملة وليست على نفس القوة بتلك التى فى باطن السائل أو داخل الأجسام الصلبة و نتيجة لعدم التشبع هذه تميل السطوح إلى اكتساب مواد أخرى على سطحها وتبقى عليها وتسمى العملية بعملية الامتزاز.

س: عرف ضغط السطح. ووضح علاقتة بدرجة الحرارة؟

فى الامتزاز على سطوح المحاليل بيَّن لانجماير أن سمك الطبقة الممتزة تكون جزئ واحد تتحرك بحرية وقد وجد أن الطبقات الممتزة ينطبق عليها معادلة الحالة التالية :

$$(\gamma_o - \gamma)\, A = KT \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\Pi_S \,.\, A = KT \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

حيث Π_S يمثل الفرق بين التوتر السطحى للماء النقى والمحلول ويسمى ضغط السطح، A هى المساحة لكل جزئ بالأنجستروم المربع، K ثابت بولتزمان ويساوى النسبة R/N. ومن المعادلة يتضح أن ضغط السطح يتناسب تناسباً طردياً مع درجة الحرارة.

س: ما هو المقصود بمعامل الانتشار لسائل وكيف أن قيمتها يتحدد به ميل السائل للانتشار علي سطح أخر؟

جـ: معامل الانتشار هو الفرق بين شغل التلاصق W_{AS} بين السائلين A,B وشغل التماسك W_A للسائل A وذلك من العلاقة التالية:

$$W_{AB} - W_A = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} - 2\gamma_A \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

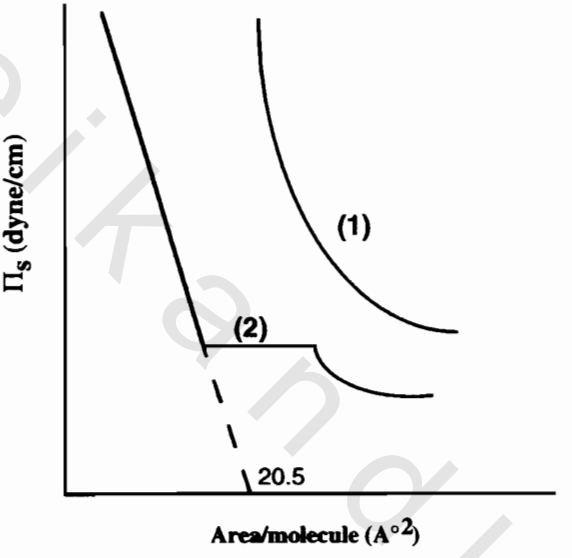
$$= \gamma_B - \gamma_A - \gamma_{AB} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

فكلما كانت قيمة معامل الانتشار كبيرة كان ميل السائل للانتشار على سطح سائل آخر كبيرا ويقل ميل السائل للانتشار إذا قلت قيمة معامل الانتشار.

س: ارسم العلاقة بين A, Π_S لحمض الستياريك علي سطح الماء؟

جـ: برسم العلاقة بين ضغط السطح Π_S، المساحة لكل جزئ A نحصل على الرسم التالى- فالمنحنى رقم (1) يشبه العلاقة بين الضغط والحجم للغاز المثالى وفى حالات

أخرى نحصل على منحنيات تشبه التى نحصل عليها عند درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة. فعند مساحات كبيرة يشبه المنحنى الناتج المنحنى المثالى ولكن عندما تقل المساحة نحصل على منطقة متوسطة يحدث عندها نقص كبير فى المساحة لكل جزئ بدون أى زيادة فى الضغط أما عند مساحات صغيرة نجد زيادة سريعة فى الضغط يشبه انضغاط الصنف السائل وعند مد الخط على استقامته إلى ضغط Π_S يساوى صفراً أعطى قيمة A تساوى 20.5 أنجستروم^2 وهذا يتفق مع قياسات الأشعة السينية وتكون مكافئة للقطاع العرض لسلسلة الهيدروكربون.



العلاقة بين ضغط السطح والمساحة لكل جزئ

امتزاز الغازات على السطح الصلب

س: اذكر العوامل المؤثرة علي عملية امتزاز الغازات علي السطوح الصلبة؟

جـ: العوامل المؤثرة على الامتزاز تختلف تبعاً لطبيعة الغاز الممتز، والسطح الماز ودرجة الحرارة التى يحدث عندما الامتزاز، وكذا ضغط الغاز فوق سطح الصلب.

(أ) تزداد قابلية الغاز للامتزاز بزيادة قابليته للإسالة فكلما كان الغاز الممتز سهل الإسالة كلما زادت قابلية للامتزاز على السطح الصلب.

(ب) تزداد عملية الامتزاز بزيادة مساحة سطح الصلب فكلما كان الصلب مجزءاً تجزئياً دقيقاً (أى أن مساحة السطح كبيرة) كلما زادت عملية الامتزاز.

(جـ) تزداد أيضاً عملية الامتزاز بزيادة ضغط الغاز المنتشر فوق سطح الصلب.

(د) حيث إن عملية الامتزاز عملية طاردة للحرارة فتبعاً لقاعدة لوشاتيليه تقل عملية الامتزاز برفع درجة الحرارة وتزداد بنقص درجة الحرارة.

س: اذكر نوعي الامتزاز للغازات علي الأجسام الصلبة ثم قارن بين الامتزاز الفيزيائي والكيميائي؟

جـ: يقسم الامتزاز تبعاً لطبيعة قوى التجاذب بين جزيئات الغاز الممتز والسطح الماز إلى نوعين: امتزاز فيزيائى، وآخر كيميائى.

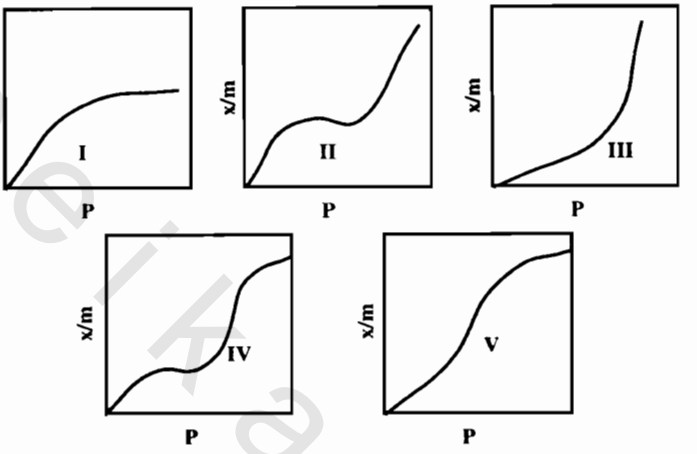
فالإمتزاز الفيزيائى محكوم بقوى فيزيائية أو قوى ڤاندرڤال. أما الامتزاز الكيميائى فيتضمن تكوين مركب على السطح بين الغاز والسطح الماز ويشتمل على تبادل أو مشاركة إلكترونية بين السطح الماز والجزئ أو الذرة الممتزة.

ويمكن عقد مقارنة بين النوعين فى الجدول التالى:

وجه المقارنة	الامتزاز الفيزيائي	الامتزاز الكيميائي
١- حرارة الامتزاز	- منخفضة تصل إلي ٥٠٠٠ سعر/مول.	-عالية تصل إلي ١٠٠٠٠٠ سعر/مول.
٢- الانعكاسية	- انعكاسية. يمكن استرجاع الغاز بسهولة بالتفريغ أو التسخين.	- غير انعكاسية بحيث لايسهل الحصول علي الغاز مرة أخري وغالباً يختلف تركيبه الكيميائي عند بداية الامتزاز عنه عند استرجاعه.
٣- العلاقة بين عملية الامتزاز وإسالة الغازات الممتزة	-تزداد كمية الغاز الممتز كلما كان الغاز سهل الإسالة.	
٤- عدد الطبقات الممتزة	- يمكن أن يحدث امتزاز لأكثر من طبقة من طبقات الغاز.	- لاتوجد علاقة بين عملية الامتزاز وسيولة الغازات وتكون مرتبطة بقابلية الغاز للإتحاد بينه وبين الصلب. يتم الامتزاز الكيميائي بتغطية سطح الصلب بطبقة واحدة من الغاز يمكن أن يحدث بعدها امتزاز فيزيائي.
٥- الأمثلة :	- غاز النوشادر أو ثاني أكسيد الكربون علي سطح الفحم.	- غاز الأكسجين علي سطح الفحم وغاز الهيدروجين علي سطح النيكل.

س: عرف ما هو الأيزوثيرم وبين أنواعه المختلفة؟

جـ: الأيزوثيرم هو علاقة بين كمية الغاز الممتص على وحدة الكتل للسطح الماز وضغط الغاز الممتز. وتوجد خمسة أنواع منها ما يشير إلى الامتزاز الفيزيائى ومنها مايوضح الامتزاز الكيميائى:



أصناف أيزوثيرمات الامتزاز

س: فسر النوع الأول من الأيزوثيرمات Isotherm I ؟

جـ: لتفسير ظاهرة اختلاف كمية الغاز الممتز/وحدة كتلة من المادة الصلبة بتغير الضغط عند ثبوت الحرارة اقترح فريندليخ المعادلة الأولية التالية وتسمى أيزوثيرم الامتزاز لفريندليخ و المعادلة كما يلى: $\frac{X}{m} = Kp^{\frac{1}{n}}$

حيث X هى كتلة الغاز الممتز، m كتلة الصلب الماز، P= الضغط أو ما يسمى ضغط الاتزان. أما K , n فهى ثوابت تعتمد على طبيعة كل من الغاز الممتز والسطح الماز ودرجة الحرارة وهذه العلاقة تكون صحيحة فقط عند الضغوط المنخفضة لاختبار صلاحية هذه العلاقة نأخذ لوغايتم المعادلة السابقة نحصل على:

$$\log \frac{X}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log p$$

وهى فى صورة معادلة خط مستقيم وبرسم العلاقة بين log P, log X/m نحصل على خط مستقيم ميله يساوى 1/n و الجزء المقطوع من المحور الرأس يعطى القيمة log K. وهذه المعادلة تكون صحيحة عند الضغوط المنخفضة وعند درجة حرارة منحفضة أيضاً ولذا فإن المعادلة $(X/m = Kp^{\frac{1}{n}})$ هى معادلة تقريبية ولايمكن الاعتماد عليها

كمعادلة عامة يمكن تطبيقها فى جميع الظروف لشرح امتزاز الغازات على أسطح المواد الصلبة.

س: اذكر الفروض التي بني عليها لانجماير معادلة لتفسير الأيزوثيرم رقم I ؟

جـ: اعتبر لانجماير أن امتزاز الغازات على سطح الصلب ما هى إلا عمليتان متضادتان:

أ) تجمع الجزيئات الغازية من الوسط الغازى إلى سطح الصلب.

ب) انتقال الجزيئات من كل السطح الصلب إلى الوسط الغازى.

وعند الاتزان تتساوى هاتان العمليتان وقد اشتق معادلتة اعتماداً على الفروض التالية:

(١) السطح الماز يمتز طبقة سمكها جزئ واحد.

(٢) الامتزاز للجزيئات الأخرى يكون محدوداً

(٣) لايوجد أى نوع من التفاعلات بين الجزيئات الممتزة.

معادلة لانجماير للامتزاز

س: اشرح أيزوثيرم الامتزاز للانجمايز؟

جـ: نفرض أن لدينا كسر θ من سطح الصلب الماز مغطى بطبقة من جزيئات الغاز عند زمن ما ويكون الكسر من السطح الخالى من الجزيئات وقابل للامتزاز عليه هو $(1-\theta)$ فإذا فرضنا أن P هو ضغط الغاز.

فيكون معدل إمتزاز جزيئات الغاز هو $=K_1P\,(1-\theta)$ ومعدل انتقال جزيئات الغاز من على سطح الماز إلى الوسط الغازى هو $= K_2\theta$ وعند الاتزان يتساوى معدل التجمع مع معدل الهروب هكذا:

$$K_1\,P\,(1-\theta) = K_2\theta$$

$$\therefore\ \theta = \frac{K_1\,p}{K_2 + K_1\,p}$$

$$\theta = \frac{(K_1 / K_2)p}{1 + (K_1 / K_2)p}$$

$$\theta = \frac{bp}{1 + bp}$$

وحيث إن كمية الغاز الممتز لكل وحدة كتلة من المادة المازة لايتناسب مع الكسر المغطى

obeikandi.com

من السطح θ $\quad \therefore\ y = K\theta$

بالتعويض عن قيمة θ فى المعادلة السابقة

$$\therefore\ y = \frac{Kbp}{1 + bp}$$

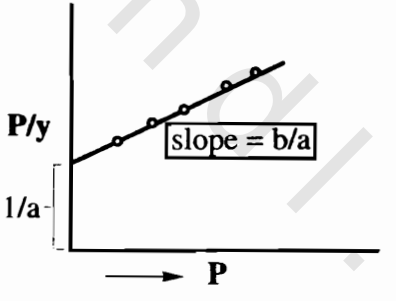
$$y = \frac{ap}{1 + bp}$$

العلاقة السابقة تربط بين كمية الغاز الممتز وضغط الغاز عند درجة حرارة ثابتة ويسمى أيزوثيرم لانجماير للامتزاز ويمكن كتابتها فى صورة معادلة خط مستقيم هكذا.

$$\frac{p}{y} = \frac{1}{a} + \left(\frac{b}{a}\right) p$$

فإذا رسمنا العلاقة بين P/y ضد P

نحصل على خط مستقيم ميله يساوى b/a والجزء المقطوع من محور P/y هو مقلوب a أى $\frac{1}{a}$



معادلة B.E.T.

س: اكتب معادلة برونر – إميت – تيللور (B. E.T.) ثم وضح استخدام هذه المعادلة لتفسير الأيزوثيرم II , III , V , IV ؟

جـ: معادلة B.E.T على الصورة التالية:

$$\frac{p}{v\,(p^{\circ} - p)} = \frac{1}{v_m . C} + \frac{(C - 1)}{v_m . C} - \frac{p}{p^{\circ}}$$

حيث v_m , v هى حجوم الغازات مقاسة عند الظروف القياسية عند الضغط P و عندما تغطى السطح بطبقة من الجزيئات أحادية الطبقة عند درجة حرارة T . P° ضغط البخار المشبع عند حرارة C. T ثابت ويساوى $(E_1-E_L)/RT$ حيث E_1 هى حرارة امتزاز الطبقة الأولى , E_L هى حارة تكثيف الغاز إلى سائل وهناك الحالات التالية:

(١) الحالة الأولى : إذا كانت $E_1 > E_2$ نحصل على أيزوثيرم II.

(٢) الحالة الثانية : إذا اكانت $E_1 < E_L$ نحصل على أيزوثيرم III

لتفسير نوع الأيزوثيرم IV , V :

وجد أنه بالإضافة إلى امتزاز عدد من طبقات الغاز يحدث تكثيف لجزيئات غاز أخرى فى الفتحات و الشعيرات الدقيقة للسطح الماز عند ضغوط تقل عن P° و الحدود بين الايزوثيرم IV , V يعتمد على القيم النسبية للحرارات E_1 , E_L.

(٣) فإذا كانت $E_1 > E_L$ نحصل على أيزوثيرم IV.

(٤) فإذا كانت $E_1 < E_L$ نحصل على أيزوثيرم V.

الامتزاز من المحاليل Adsorption From Solution

س: اكتب معادلة لانجماير و فريندليخ للامتزاز من المحاليل؟

جـ: معادلة فريندليخ تكتب فى الصورة التالية ويكون فيها التركيز محل الضغط وهى كالتالى: $X/m = KC^{\frac{1}{n}}$

و بأخذ اللوغاريتم تكون كالتالى:

$$\log \frac{X}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

حيث x/m هى كمية المذاب الممتز على سطح الصلب m , K ثابت ,C التركيز، أما معادلة لانجماير فهى كالتالى:

$$\frac{X}{m} = \frac{ac}{1 + bc}$$

وفيها يكون المذاب الممتز هو x/m

b, a ثوابت و C تركيز المحلول

س: وضح طرق التخلص من آثار المذاب و الممتز علي سطح الراسب في الكيمياء التحليلية؟

جـ: للتقليل من الخطأ الناتج عن الامتزاز على الرواسب فيجب أن تتم عملية الترسيب فى محاليل ساخنة حيث تكون عملية الإمتزاز فى حدها الأدنى ويراعى أن تكون حجوم الدقائق المترسبة كبيرة حتى تكون مساحة سطوحها المعرضة للامتزاز أقل مايمكن.

التطبيقات:

س: تكلم عن التطبيقات العملية علي عملية الامتزاز؟

جـ: من التطبيقات المهمة لعملية الامتزاز يمكن تقسيمها كما يلى.

١) الكروماتوجرافيا. ٢) امتزاز الأدلة. ٣) الامتزاز بالتبادل. ٤) المواد المبللة لأسطح الصلبة. ٥) صمد الماء. ٦) تعويم الخامات.

ثانياً: مسائل وحلولها

غمرت أنبوبة شعرية قطرها الداخلى 0.06 سم أفقياً فى كأس به ماء مقطر عند درجة حرارة 20°C فارتفع الماء مسافة قدرها 0.0496 سم فإذا كانت كثافة الماء $998.2\ Kgm/cm^3$ احسب التوتر السطحى لسائل الماء؟

الحل

باستخدام طريقة الارتفاع فى الانابيب الشعرية

تكون المعادلة كالآتى:

$$\gamma = \frac{1}{2}\, rhdg$$

$$\gamma = \frac{(0.0003)(998.2)(0.000496)(9.8)}{2}$$

$$\gamma = 0.000728\ N\ m^{-1}$$

ثالثاً: أسئلة عامة (غير مجاب عنها)

(١) عرف التوتر السطحى لسائل؟

(٢) اشتق معادلة يانج موضحاً أهميتها فى تفسير ظاهرة بلل السوائل لأسطح الصلب؟

(٣) اشرح طريقة قياس الشد السطحى لسائل باستخدام أقصى ضغط فى الفقاعة؟

(٤) اشرح طريقة اشتقاق معادلة أتفوس لتأثير درجة الحرارة على الشد السطحى؟

(٥) عرف الباراكور موضحاً أهمية فى التأكد من التركيب الجزيئى للمركبات العضوية وغير العضوية؟

(٦) عرف ما يلى: الامتزاز - ضغط السطح - معامل الانتشار؟

(٧) اشرح أهمية معامل الانتشار لسائل فى تحديد قابلية السائل للانتشار فوق سائل أخر؟

(٨) اكتب ما تعرفه عن ضغط السطح ΠS. وضح استخدام قيمة ΠS فى تحديد المسافة بين ذرتى كربون فى مركب حمض الستياريك؟

(٩) اذكر أهم العوامل المؤثرة على امتزاز الغازات على السطوح الصلبة؟

(١٠) قارن بين الامتزاز الفيزيائى و الامتزاز الكيميائى موضحاً إجابتك بالأمثلة؟

(١١) ما هو المقصود بالأيزوثيرم اذكر أنواعه الخمسة؟

(١٢) فسر الأيزوثيرم I على ضوء معادلة فريندليخ؟

(١٣) ما هى الفروض التى بنى عليها لانجماير أيزوثيرم لانجماير للامتزاز؟

(١٤) اكتب معادلة برونر - إميت - تيللر (B. E. T.)؟

(١٥) اكتب معادلة لانجماير للامتزاز من المحاليل ثم وضح كيفية تعيين الثوابت K, n لهذه العلاقة؟

(١٦) اذكر أهم التطبيقات المعملية والصناعية على عملية الامتزاز؟

(١٧) مستخدماً معادلة يانج وضح كيفية عمل المنظفات الصناعية؟

رابعاً : مسائل عامة (غير محلولة)

(١) احسب التوتر السطحى للأسيتون إذا ارتفع فى أنبوبة شعرية قطرها 0.2 mm مسافة 6 cm علماً بأن كثافة الأسيتون $0.792\ gm/cm^3$ ؟

(٢) إذا علمت أن التوتر السطحى للطولوين = 24.8 dyne/cm عند 20°C وكثافته عند ذات الدرجة هى $0.866\ gm/cm^3$. فما هو نصف قطر الأنبوبة الشعرية التى تسمح للطولوين بالارتفاع مسافة 2 cm ؟

obeikandl.com