كلية العلوم

القسم :الكيمياء

السنة : الرابعة

المادة : سطوح وحفز

المحاضرة : الاولى والثانية/عملي/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

عملي مقرر السطوح والحفز
السنة الرابعة
د: مروة رباح

التجربة الأولى

الامتزاز من المحاليل المائية

ADSORPTION FROM DILUTE SOLUTIONS

هدف التجربة:

١- دراسة امتزاز حمض الخل من محاليله المائية على الفحم الفعال.

٢- تطبيق علاقة لانغموير وعلاقة فرندليش وتحديد ثوابتها.

٣- تحديد السطح المتقبل لحمض الخل.

الأدوات والمواد اللازمة:

زجاجة مواد سعة 125 ml عدد ٦، أرلينماير مصنفرة سعة 125 ml عدد ٦، أنبوب مدرج سعة 50 ml، ماصة مدرجة سعة 10 ml، سحاحة سعة 25 ml، أقماع ترشيح عدد ٦، هزاز آلي، ورق ترشيح.

محلول حمض الخل قياسي 0.5 M، محلول هيدروكسيد الصوديوم قياسي 0.2M، مشعر فينول فتالئين، فحم فعال.

المبدأ النظري:

يُعدّ الامتزاز من المحاليل الممددة على الأجسام الصلبة ذا أهمية عملية كبيرة في كثير من العمليات مثل الصباغة وتنقية السوائل وإزالة الألوان من المحاليل المائية وتنقية المياه الصناعية والكروماتوغرافيا وغيرها.

تستطيع الأجسام الصلبة مثل الفحم الفعال والزيوليتات والحفازات الأكسيدية من امتزاز المواد من المحاليل. عندما تمتز مادة معينة على سطح صلب معين من مزيج فإنّه

يمكن فصل هذه المادة عن بقية مكونات المزيج، وتستخدم هذه الخاصة الهامة في عمليات الفصل الكروماتوغرافية. كما يمكن أن يحدث تبادل للشوارد بين المحلول وبين سطح الصلب، حيث تتحرر شاردة من سطح الصلب ويمتز عوضاً عنها شاردة أخرى من المحلول كما يحدث في عمليات التبادل الشاردي عند تحلية الماء القاسي باستخدام الزيوليتات. يستخدم الامتزاز من المحاليل أيضاً لإزالة ألوان الأصبغة من المحاليل، ونزع الملوثات وخاصة الفينولات من الماء عند تنقية المياه، وذلك باستخدام مواد مازة فعالة مثل الفحوم الفعالة.

عند إضافة m gr من مادة مازة صلبة إلى حجم محدد V من محلول يحوي على مادة منحلة بتركيز قدره C_2 عند درجة ثابتة، فإنّ تركيز المادة المنحلة يتناقص حتى بلوغ التوازن، ويكون التغير في تركيز المذاب نتيجة الامتزاز هو ΔC_2، ويكون عدد المولات الممتزة من المادة المنحلة من أجل غرام واحد من الصلب n_2^s والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$n_2^s = V\Delta C_2 / m \qquad (1)$$

تكون الكمية الممتزة n_2^s عموماً تابعة للتركيز C_2 ولدرجة حرارة الجملة، أي أنّ:

$$n_2^s = f(C_2, T) \qquad (2)$$

وعند درجة ثابتة يكون:

$$n_2^s = f(C_2) \qquad (3)$$

يدعى هذا التابع بالامتزاز متساوي الدرجة. وإذا رسمنا $\Delta C_2/m$ بدلالة تركيز المادة المنحلة المتبقي في المحلول، $C_{2,e}$، فإنّ المنحني الناتج يدعى **بمنحني الامتزاز متساوي الدرجة الظاهري**، ويدعى بالظاهري لأنّ جزيئات المحل يمكن أن تمتز أيضاً على سطح الصلب.

تقوم الطريقة التجريبية على تعيين هذا التابع، أي قياس الامتزاز كتابع للتركيز عند درجة حرارة ثابتة. فرضت عدة أشكال للتابع f_T إما كنتيجة للملاحظات التجريبية **(فرندليش)** أو باستخدام نماذج خاصة للامتزاز كالتي استخدمها **لانغمويير** (Langmuir) بالمشابهة مع نموذجه الذي فرضه في حالة امتزاز الغازات.

يفترض نموذج لانغموبير أنّ السطح عبارة عن مراكز امتزازية، وأنّ كل مركز

يمتـز جزيئـة واحـدة ومسـاحته الموافقـة هـي σ^o، وأنّ جميـع الأنـواع الممتـزة تتـأثر فقـط بالمراكز المتجانسة طاقياً (أي لها القوة الامتزازية ذاتها)، وليس هناك تأثير متبادل فيما بينهـا، وهكذا فإنّ الامتزاز يكون محدوداً إلـى طبقـة أحاديـة (monolayer). يكـافئ هذا النموذج اعتبار الطبقة الأحادية الممتزة على أنها محلول ثنائي البعد مثالي وبحيث تكون فيه حجم المادة المنحلة والمحل متساوية سطح المقطع A_m، وهنا تكون التأثيرات الجانبية مهملـة. وهكذا نجد أنّ σ^o فـي نمـوذج لانغمـوير خاصـة مميزة لشبكة الصـلب بينمـا A_m خاصة للأنواع الممتزة ويكون $\sigma^o = A_m$. يُعدّ الامتزاز في كلا النموذجين على أنه منافسة بـين المحـل والأنـواع المنحلـة علـى المراكـز الامتزازيـة، وعليـه فـإنّ عمليـة الامتـزاز تمثـل بدلالة الكسور المولية كما يلي:

$A(x_2$ (مذاب في المحلول، $B(x_1^s$ (مذيب ممتز، x_2^s (مذاب ممتز، $B(x_1$ (محل في المحلول، $+ B(x_2^s$ (مذاب في المحلول، $+ A(x_2$ (مذاب في المحلول، $+ B(x_1$ (محل في المحلول،

حيث تمثل x_1 الكسر المولي للمحل في المحلول و x_2 الكسر المولي للمادة المنحلة في المحلول، و x_1^s الكسر المولي للمحل في الطبقة الممتزة، و x_2^s الكسر المولي للمذاب في الطبقة الممتزة. ويكون ثابت التوازن لهذه العملية هو:

$$K = a_1 x_1^s / a_2 \qquad (4) x_2^s$$

حيث تمثل a_1 و a_2 فعالية المحل والمذاب في المحلول عند التوازن على التوالي.

عندما تكون المحاليل ممددة بشكل كاف فإنّ a_1 (فعالية المحل) تكون ثابتة ومن ثم فإنّ $K/a_1 = b$، وحيث أنّ $x_1^s=1 x_2^s + x$ فإنّ العلاقة (4) تؤول إلى الشكل التالي:

$$b = K/a_1 =)a_2 \qquad x_2^s /(1-x_2^s x$$

$$x_2^s x = ba_2/ (1+ba_2) \qquad (5)$$

وبما أنّ $\theta = = x/x_m x_2^s x$ حيث تمثل θ الكسر المغطى من المادة المنحلة في السطح و x عدد مولات المراكز الامتزازية المشغولة من أجل واحدة كتل الصلب و x_m عدد مولات المراكز الامتزازية الكلية من أجل واحدة كتل الصلب (سعة الطبقة الأحادية)، وتكون تأثيرات معاملات الفعالية غير مهمة أي $a_2 = C_2$، فإنّ العلاقة (5) تؤول إلى الشكل التالي:

$$\theta = x /x_m = bC_2/ (1+ bC_2)$$

$$\mathbf{x = x_m bC_2/ (1 + bC_2)} \qquad \mathbf{(6)}$$

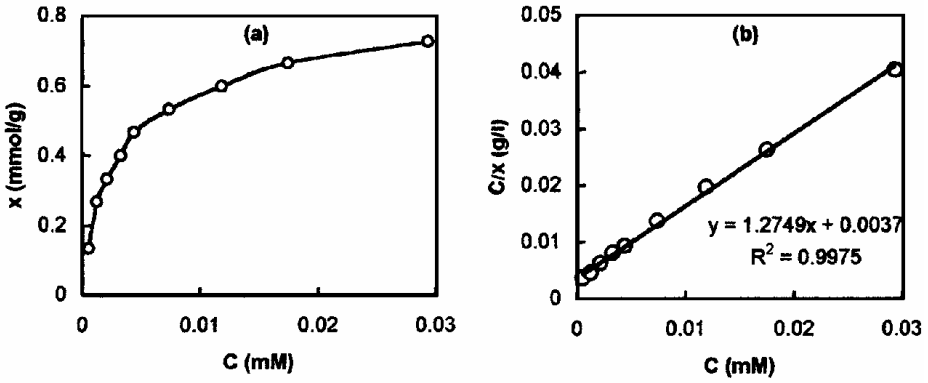
والتي تدعى **بعلاقة لانغمير الامتزازية في المحاليل الممدة**، ويدعى الثابت b بثابت لانغمير.

يلاحظ من هذه العلاقة أنه عند التراكيز المنخفضة جداً، أي $bC_2 << 1$، يكون $x = x_m bC_2$ أي أنّ x تتناسب طرداً مع C_2 وتكون العلاقة خطية بميل قدره $x_m b$. أما عندما تكون التراكيز عالية فإنّ $bC_2 >> 1$ وتؤول العلاقة (6) إلى $x \approx x_m$ أي أنّها تقترب من القيمة الحدية x_m سعة الطبقة الأحادية الممتزة بواحدة mol/g.

تحدد x_m و b بتحويل علاقة لانغمير إلى الشكل الخطي التالي:

$$\mathbf{(C_2/x) = (1/x_m b) + (C_2/x_m)} \qquad \mathbf{(7)}$$

وهكذا عند رسم C_2/x بدلالة C_2 نحصل على خط مستقيم ميله $s = 1/x_m$ وتقاطعه يساوي $i = 1/x_m b$، ومنهما تحسب x_m (سعة الامتزاز) و b ثابت لانغمير الذي يُعدّ قياساً لشدة الامتزاز وهو يتعلق بحرارة الامتزاز. ويبين الشكل (١) نموذجاً لمنحني امتزاز أزرق الميتلين من المحاليل المائية عند الدرجة 298K على الفحم الفعال والتمثيل الخطي لعلاقة لانغمير الخطي الموافق.



الشكل (١) يمثل منحني امتزاز أزرق الميتلين من المحاليل المائية عند الدرجة 298K (a) وتطبيق علاقة لانغمير الخطية الموافق (b).

إذا عرفنا سطح مقطع جزيئة المادة المنحلة A_m فإنّه يمكن معرفة المساحة السطحية المتقبلة للماز من العلاقة التالية:

$$S\ (m^2/g) = x_m L\ A_m 10^{-20} \qquad (8)$$

حيث تمثل x_m سعة الطبقة الأحادية (mol/g) و L عدد افوغادرو وA_m سطح مقطع الجزيئة الممتزة بواحدة $Å^2$.

بما أنّ $b = K/a_1$ و $K = \exp(-\Delta G^o/RT)$ و $\Delta G^o = \Delta H^o - T\Delta S^o$ فإنّ:

$$b = \exp(\Delta S^o/R)\exp(-\Delta H^o/RT)/a_1 = b_o\exp(Q/RT) \qquad (9)$$

حيث تمثل $Q = -\Delta H^o$ الانتالبية الكلية للامتزاز و Q حرارة الامتزاز، وبالتالي فإنّ ثابت لانغمويز يعكس قوة التأثير المتبادل ماز/ ممتز أي شدة الامتزاز.

وضع **فرندليش** (Freundlich) علاقة تجريبية لمعالجة الامتزاز من المحاليل الممددة، وعلى اعتبار أنّ سطوح الأجسام الصلبة المازة غير متجانسة، أي أنّ حرارة الامتزاز وبالتالي b تتغير مع الكسر المغطى من السطح θ، فإنّ الكمية الممتزة من المادة المنحلة من أجل غرام واحد من الصلب تتعلق بتركيز المادة المنحلة عند التوازن C بالعلاقة التجريبية التالية:

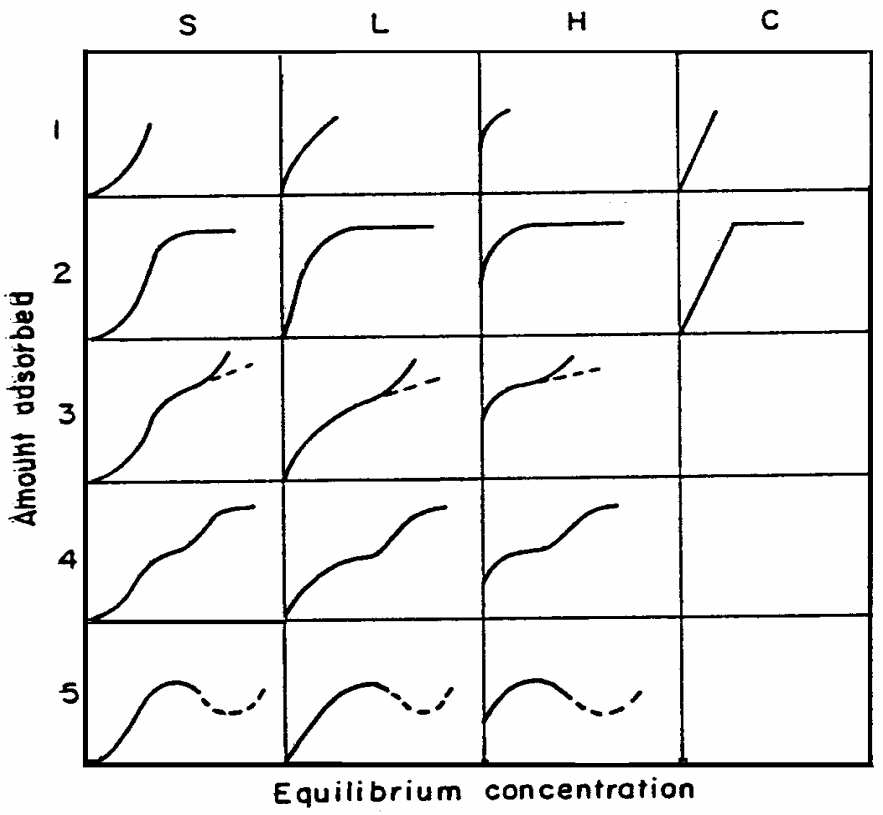
$$x = kC^{1/n} \qquad (10)$$

حيث k و n تعرف بثابتي فرندليش، و $n>1$. ويمكن إيجاد قيم ثابتي فرندليش بكتابة العلاقة السابقة بشكل لوغاريتمي كما يلي:

$$\log x = \log k + (1/n)\log C \qquad (11)$$

وهكذا عند رسم العلاقة بين $\log x$ و $\log C$ ينتج خط مستقيم ميله 1/n وتقاطعه يساوي $\log x$ ومنهما تحسب n و k.

لوحظ عملياً ظهور أشكال مختلفة لمنحنيات الامتزاز متساوية الدرجة من المحاليل المددة صنفها جيلس Giles ورفاقه عام ١٩٦٠ إلى أربعة أصناف رئيسة وهي S,L,H,C الموضحة في الشكل (٢).



الشكل (٢) تصنيف جيلس ورفاقه لمنحنيات الامتزاز من المحاليل الممددة.

النموذج S يكون محدباً بالنسبة لمحور التراكيز، وينتج عندما يكون التأثير المتبادل ماز/ ممتز ضعيفاً.

النمـوذج L يكون مقعراً بالنسبة لمحور التراكيز ويماثل النموذج I في امتزاز الغازات ويدعى بالنموذج اللانغمويري.

النمـوذج H أو الإلفة العالية، ويتميز بأنّه حاد جداً عند التراكيز المنخفضة جداً نتيجة الامتزاز التفضيلي الكبير للمادة المنحلة ، وينتج عندما يكون التأثير المتبادل ماز/ ممتز قوياً جداً.

النموذج C أو التوزيع الثابت ويتميز بخط مستقيم في المجال المنخفض من التراكيز مثل قانون **هنري**.

طريقة العمل:Procedure

١- اغسل ست زجاجات أو ارلينمايرات سعة 125 ml مصنفرة جيداً ورقمها من 1 إلى 6، وضع في كل منها 1 g من مسحوق الفحم الفعال.

٢- ضع الكميات التالية من محلول حمض الخل 0.5 N والماء المقطر في الزجاجات الست:

الزجاجة	1	2	3	4	5	6
حمض الخل 0.5N, ml	5	10	20	30	40	50
ماء مقطر،ml	45	40	30	20	10	0

٣- خض الزجاجات أو الارلينمايرات السابقة في هزاز كهربائي لمدة لا تقل عن نصف ساعة.

٤- اغسل سحاحة سعة 25 ml أو 50 ml جيداً بالماء ثم بقليل من محلول هيدروكسيد الصوديوم 0.2N ثم املأها حتى الصفر بمحلول القلوي.

٥- رشح المحاليل السابقة إلى ارلينمايرات ست أخرى مرقمة.

٦- خذ من كل رشاحة 10 ml وضعها في ارلينماير سعة 125 ml وأضف إليها بضع نقاط من مشعر الفينول فتالئين، ثم عاير بمحلول هيدروكسيد الصوديوم، ثم كرر عملية المعايرة ثلاث مرات وخذ المتوسط، وسجل حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم(المتوسط).

الحسابات والنتائج: Calculations and results

١-احسب تركيز حمض الخل البدائي C_o بواحدة mmol/l بتطبيق قانون مور من أجل المحاليل الست المحضرة.

٢- احسب تركيز حمض الخل التوازني C بواحدة mmol/l الناتج عن المعايرة بعد عملية الامتزاز.

٣- احسب الكمية الممتزة من حمض الخل من أجل 1 g فحم فعال بتطبيق العلاقة (1)، أي:

$$x = V(C_o-C)/m = 0.05(C_o-C)10^3 \text{ mmol/g}$$

حيث تمثل x كمية حمض الخل الممتزة من أجل 1 g فحم فعال وبواحدة mmol/g و V حجم حمض الخل الكلي باللليتر، ويساوي 0.05 l و m كتلة الفحم الفعال المستخدم وتساوي 1 g.

٤- رتب النتائج في الجدول التالي:

التجربة	C_o mM	V_H ml	C mM	x mmol/g	C/x (g/l)	log x	log C
1							
2							
3							
4							
5							
6							

٥- ارسم منحني الامتزاز متساوي الدرجة أي x بدلالة C.

٦- احسب C/x بواحدة g/l ثم ارسم C/x بدلالة C، ثم أوجد ميل الخط المستقيم الناتج وتقاطعه.

٧- احسب سعة الطبقة الأحادية x_m وثابت لانغمور b من تطبيق علاقة لانغمور الخطية، العلاقة (7) التالية:

$$(C/x) = (1/x_m b) + (C/x_m) \qquad (7)$$

وحيث أنّ $s = 1/x_m$ و $i = /x_m b$ وبالتالي:

$$x_m = 1/s \ (mmol/g) \quad , b = i/s \ (l/mmol)$$

٨-احسب المساحة المتقبلة لحمض الخل من العلاقة (8) حيث سطح مقطع جزيئة الحمض $A_m = 20Å^2$ التالية:

$$S\ (m^2/g) = x_m L A_m 10^{-20} = 120.5\ x_m(mmol/g)$$

حيث $L = 6.025.10^{23} mol^{-1}$ عدد افوغادرو

٩-احسب log x و log C وسجلها في الجدول السابق.

١٠- أرسم علاقة فرندليش أي رسم log x بدلالة log C وأوجد الميل والتقاطع وأحسب منهما ثابتي فرندليش، n و b، حيث:

$$n = 1/s \quad ; \quad k = 10^i$$

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

عملي مقرر السطوح والحفز
السنة الرابعة
د: مروة رباح

التجربة الثانية

امتزاز حمض الحماض على الفحم الفعال عند درجات حرارة مختلفة

ADSORPTION OF OXALIC ACID AT DIFFERENT TEMPERATURES

الهدف من التجربة:

١- تحديد كمية حمض الحماض الممتزة على الفحم الفعال عند درجات مختلفة.

٢- تعيين حرارة الامتزاز التوازنية.

الأدوات والمواد اللازمة:

خلاط مغناطيسي مع سخان، ميزان حرارة، ميقاتية، سحاحة سعة 50 ml، ارلينماير سعة 125 ml عدد ٥، زجاجة محاليل سعة 125 ml عدد ٥، قمع ترشيح، ورق ترشيح، ماصة سعة 10 ml عدد ٤، أنبوب أسطواني مدرج سعة 50 ml.

محلول حمض الحماض قياسي 0.5N، محلول حمض الكبريت 2N، محلول برمنغنات البوتاسيوم 0.1N، فحم فعال.

المبدأ النظري: Theoretical

إنّ عملية الامتزاز عملية ناشرة للحرارة، وتتعلق كمية الحرارة المنتشرة بنوع المادة المازة والمادة الممتزة، أي بقوة التأثير المتبادل ماز/ ممتز، وبالتالي بنوع الامتزاز أهو

كيميائي أم فيزيائي. تكون حرارة الامتزاز في الامتزاز الفيزيائي صغيرة (≤20 kJ/mol) بينما في الامتزاز الكيميائي فتكون كبيرة (≥80 kJ/mol).

هناك أنواع مختلفة من حرارات الامتزاز، إذ تعتمد الحرارة الناتجة في تجربة معينة على الشروط التي تم فيها الامتزاز، وعموماً إذا نتجت حرارة قدرها Q – تحت شروط متساوية الدرجة من أجل امتزاز n^s مول من المادة الممتزة على سطح نظيف تماماً فإنّ حرارة الامتزاز التفاضلية q_d تعرف بالعلاقة التالية:

$$q_d = -dQ/dn^s \qquad (1)$$

وتُعرف حرارة الامتزاز التكاملية بأنها كمية الحرارة المنشرة عند امتزاز كمية ما من المادة الممتزة من أجل واحدة سطح المادة المازة.

نعلم أنّه من أجل امتزاز غاز وحيد على ماز يكون تغير الطاقة الحرة هو:

$$dG^s = -S^s dT + V^s dP + \gamma\, da + \mu dn^s \qquad (2)$$

حيث تمثل a مساحة سطح الماز و n^s عدد مولات الغاز الممتزة. ومن أجل مول واحد عندما تكون الكمية الممتزة n^s ثابتة والمساحة a ثابتة، أي أنّ $\Gamma = n^s/a$ التركيز السطحي ثابت، تؤول العلاقة (2) إلى الشكل التالي:

$$d\mu = -S`_s dT + V`_s dP \qquad (3)$$

حيث $S`_s = (\partial S^s/\partial n^s)_{p,T,a}$ و $V`_s = (\partial V^s/\partial n^s)_{p,T,a}$.

ومن أجل الغاز الذي يكون في حالة توازن مع الطور الممتز يكون:

$$d\mu = -S`_g dT + V_g dP \qquad (4)$$

وعند التوازن ينتج من مساواة العلاقتين (3) و(4) ما يلي:

$$(\partial P/\partial T)_{n^s,a} = (S_g - S`_s)/(V_g - V`_s) \qquad (5)$$

وبفرض أنّ الغاز مثالي و $V`_s$ مهملة أمام V_g فإنّ العلاقة السابقة تؤول إلى الشكل التالي:

$$(\partial \ln P/\partial T)_\Gamma = (S_g - S`_s)/RT \qquad (6)$$

وهكذا فإنّ الكمية $S_g - S`_s$ يمكن استنتاجها من الامتزاز متساوي التركيب (isosteric)، أي من رسم P بدلالة T عندما يكون n^s ثابت.

تعرف حرارة الامتزاز متساوية التركيب q_{st} بالعلاقة التالية:

$$q_{st} = T(S_g - S`_s) \qquad (7)$$

وتؤول العلاقة (6)إلى الشكل التالي:

$$(\partial \ln P/\partial T)_{\Gamma} = q_{st}/RT^2 \quad (8)$$

وعندما يكون الضغط السطحي π ثابتاً، أي أنّ $d\pi = -d\gamma = 0$، فإنّه يكون بالمشابهة ما يلي:

$$(\partial \ln P/\partial T)_{\pi} = -\Delta H_a/RT^2 \quad (9)$$

وتعرف ΔH_a **بحرارة الامتزاز التوازنية** (equilibrium heat of adsorption) ويكون:

$$\Delta H_a = -q_{st} = T(s_s - S`_s) \quad (10)$$

حيث $s_s = S^s/n^s$ الانتروبية المولية السطحية.

يمكن الحصول على q_d مسعرياً وعلى ΔH_a من البيانات الامتزازية باستخدام العلاقة (9)، ويمكن الحصول على q_{st} من الامتزاز متساوي التركيب عند درجات مختلفة باستخدام العلاقة (8) والتي تكتب بشكلها التكاملي كما يلي:

عند تركيب ثابت

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{q_{st}}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (11)$$

عند π ثابت

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta H_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (12)$$

ومن أجل الغازات المثالية يكون بتقريب جيد:

$$q_d = q_{st} - RT \quad (13)$$

يمكن تطبيق علاقة كلابيرون– كلاوزيوس، العلاقة (11) أو (12) على التراكيز، وبحيث تصبح بالشكل التالي:

$$\ln \frac{C_2}{C_1} = \frac{\Delta H_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (14)$$

حيث تمثل C_1 التركيز التوازني المولي للمادة الممتزة عند الدرجة T_1 و C_2 التركيز التوازني المولي للمادة الممتزة عند الدرجة T_2.

طريقة العمل: Procedure

١- اغسل السحاحة سعة 50 ml جيداً بالماء، ثم بمحلول برمنغنات البوتاسيوم 0.1N، ثم املأها حتى علامة الصفر بمحلول البرمنغنات.

٢- اغسل خمس زجاجات أو ارلينمايرات سعة 125 ml جيداً ثم رقمها.

٣- زن بدقة خمس وزنات كل منها 1 g من الفحم الفعال وضعها في الزجاجات أو الارلينمايرات السابقة.

٤- خذ بواسطة الأنبوب الأسطواني المدرج 50 ml من محلول حمض الحماض 0.5N واسكبه في الارلينماير الأول، ثم ضع في داخلها قطعة التحريك.

٥- ضع الارلينماير على الخلاط المغناطيسي وأغمس مستودع ميزان الحرارة في المزيج وسخن حتى الدرجة 30^oC لمدة 20 min.

٦- رشح المزيج، وخذ من الرشاحة 10 ml وأضف إليها 10 ml من محلول حمض الكبريت 2N، وسخن الناتج عند الدرجة $60\text{-}70^oC$ وعايره بواسطة محلول برمنغنات البوتاسيوم حتى ظهور اللون الوردي الثابت. كرر عملية المعايرة ثلاث مرات وخذ متوسط حجم البرمنغنات اللازم للمعايرة وسجله في جدول النتائج.

٧- كرر الخطوات ٤-٦ من أجل بقية الارلينمايرات مع التسخين عند الدرجات 40^oC و50 و60 و70 على التوالي، ولمدة 20 min، وسجل متوسط حجم محلول البرمنغنات اللازم للمعايرة في جدول النتائج.

الحسابات والنتائج: Calculations and results

١- رتب نتائجك في الجدول التالي:

الزجاجة	T, ^oC	V_{Mn}, ml	C_e, M	x, mol/g	*l*n x
1	30				
2	40				
3	50				
4	60				
5	70				

٢- احسب تركيز حمض الحماض التوازني بتطبيق علاقة مور وذلك كما يلي:

$$N_H = 0.1V_{Mn}/10 \quad ; \quad C_e = N_H/2(mol/l)$$

٣- احسب الكمية الممتزة من حمض الحماض بواحدة mmol/g بتطبيق العلاقة التالية:

$$x = [V(C_o\text{-}C_e)/m].10^3 = 0.05(C_o\text{-}C_e).10^3$$

حيث حجم محلول حمض الحماض $V = 50\ ml = 0.05l$ وكتلة الفحم الفعال 1 g.

٤- مثل بيانياً تحولات x بدلالة درجة الحرارة المطلقة T.

٥-- مثل بيانياً تحولات $\ln x$ بدلالة درجة الحرارة المطلقة T.

٦- أحسب ΔH_a بواحدة kJ/mol بتطبيق العلاقة (14) أو العلاقة التالية:

$$\Delta H_a = \frac{RT_1T_2}{(T_2 - T_1)} \ln \frac{C_{e,2}}{C_{e,1}}$$

بين كل درجتي حرارة ممكنة وخذ المتوسط. علماً أنّ R = 8.314 kJ/K.mol.