

A Study Of Distance Between Water Molecules

Dr. Hosam Naal *

(Received 12 / 10 / 2022. Accepted 16 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

In this research we study distance between water molecules by means simple laboratory mechanisms, although hydrogen bond between each other is the strength bond between organic compounds molecules, water molecules are divergent. The alkanes like heptane and hexane have the weaker forces between its molecules, vandervals forces, though they are not divergent. Last two facts are supported by boiling points which indicate to strength of hydrogen bond, on the other hand we can dependence on density calculate the volume which occupied by one molecule in the liquid (one mole), and we can conformable this volume with that calculate according to molecule diameter. For molecules like hexane and heptane we found correspondence, this means its molecules are not divergent, on the other hand water molecules where divergent. So to avoid doubt if water molecule is bigger than calculated theoretical, we must assure its molecule weight, we calculate the molecular weight experimentally from slow drying the salt aqueous Sodium thiosulfate, slow drying was to avoid any decomposition may happen at high temperature degrees. And we calculate dry salt concentration by titrate aqueous Sodium thiosulfate using Iodine I₂. All results assure the fact that water molecules are divergent, so the lonely explanation we found that there is electrical discord forces between protons balance with the strong hydrogen bonds between water molecules.

Keywords: water molecules divergent , molecule dimensions, water molecule diameter, the space which molecule occupied.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor, Department of Basic Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. naalhosam2@gmail.com

دراسة تباعد جزيئات الماء

د. حسام نعال*

(تاريخ الإيداع 12 / 10 / 2022. قُبِلَ للنشر في 16 / 7 / 2023)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة تباعد جزيئات الماء باستخدام التقنيات المخبرية البسيطة، إذ أن جزيئات الماء متباعدة في المحلول على الرغم من أن الروابط بينها هي روابط هيدروجينية، وتعد الرابطة الهيدروجينية أقوى أنواع الروابط بين الجزيئات، على حين تكون جزيئات الفحوم الهيدروجينية التي تربط بينها أضعف أنواع الروابط بين الجزيئات، وهي قوى فاندرفالس، غير متباعدة، والحقيقتين السابقتين تدعمهما درجات الغليان من جهة قوة الرابطة الهيدروجينية، كما يمكن من جهة أخرى اعتماداً على الكتلة الحجمية حساب الحيز الذي تشغله جزيئة غرامية واحدة، ومطابقة هذا الحجم للحسابات النظرية لحجم الجزيئة المحسوب اعتماداً على انصاف أقطار الذرات، بالنسبة لجزيئات الهكسان والهبتان نجد تقارب نتائج الحسابات السابقة، فهي مركبات جزيئاتها غير متباعدة، أما بالنسبة لجزيئة الماء فلا نجد تطابق لتباعدها، ولدفع الشك في كون جزيئة الماء أكبر حجماً من المحسوب نظرياً، أي ذات كتلة مولية أكبر من المسجل مرجعياً، حسبنا الكتلة المولية لجزيئات الماء من تجربة تجفيف بطيء جداً لمدة شهرين لملاح ثيوكبريتات الصوديوم المائية، لمنع أي تفكك ممكن حدوثه عند درجات حرارة مرتفعة، مع معرفة تركيز الملح الجاف بمعايرة الملح باليود، وقد أكدت جميع النتائج صحة ما سبق من تباعد جزيئات الماء، وكان التفسير الوحيد الذي يبرر التباعد هو وجود قوى تنافر كهربائية تتوازن مع قوى التجاذب الهيدروجينية بين الجزيئات.

الكلمات المفتاحية: تباعد جزيئات الماء - ابعاد الجزيئة - نصف قطر جزيئة الماء - الحيز الذي تشغله الجزيئة

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* مدرس - قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. naalhosam2@gmail.com

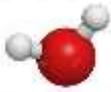
مقدمة:

تعتمد الحالة الفيزيائية للمادة على عاملين، أحدهما الكتلة الجزيئية الغرامية، والثاني شدة قوى الربط بين الجزيئات، وبينما تهتز جزيئات المادة الصلبة في مكانها بارتفاع درجة الحرارة، تتحرك جزيئات السوائل بحرية داخل المحلول بحيث يأخذ السائل شكل الوعاء الذي يسكب فيه. بالنسبة لتأثير زيادة الكتلة الجزيئية يمكن مقارنة البروبان C_3H_8 ذو الكتلة الجزيئية 44 g/mol مع الهكسان C_6H_{14} ذو الكتلة الجزيئية 86 g/mol ، فالبروبان غاز بينما الهكسان سائل، لكن يختلف الأمر عندما تزداد القوى الرابطة بين الجزيئات كما عند مقارنة غاز الأوزون O_3 ذو الكتلة الجزيئية 48 g/mol بجزيئات الماء H_2O ذات الكتلة الجزيئية 18 g/mol ، فقوة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء تعمل على تقريب الجزيئات من بعضها البعض، ويكون سائلاً في الدرجة العادية من الحرارة.

إن قوة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء ترفع درجة غليانه نحو 100°C ، أكثر من درجة غليان الهكسان البالغة 69°C [Haynes, W.M. 2011]، وكذلك أكبر من درجة غليان الهبتان C_7H_{16} البالغة 98.44°C [Haynes, W.M. 2014]، وتلك القوة للرابطة الهيدروجينية يتوقع معها زيادة تقريب جزيئات الماء من بعضها البعض أكثر من غيرها من المركبات. لكن لا يجب الجزم بأي استنتاج قبل التحقق بالحساب. الحسابات التالية تبين مدى تقارب أو تباعد جزيئات كل من الماء، والهكسان والهبتان على الترتيب.

أجري هذا البحث في مختبر الكيمياء العضوية والعامية والتحليلية التابع لقسم العلوم الأساسية في كلية الزراعة بجامعة تشرين عامي 2019 - 2020 م.

1-1 حساب نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة ماء حقيقة واحدة من علاقة الكثافة والكتلة الجزيئية وعدد أفوكادرو H-O-H



بما أن الكتلة الحجمية (أو الكثافة) للماء يمكن قياسها بسهولة، وباعتبار حرية دوران الجزيئات السائلة يمكن اعتبار الحيز الذي تشغله الجزيئة الواحدة على شكل كرة، كأننا اعتبرنا الجزيئات كرات في صندوق، والحيز الفعلي هو حجم المكعب المحيط بالكرة ضمن المحلول. فيكون حجم الحيز الذي تشغله الجزيئة الواحدة هو حجم المكعب، باعتبار طول ضلع هذا المكعب هو $2r$ حيث r نصف قطر الكرة المشغولة بالجزيئة بوحدة أنغستروم A^0 ، يمكننا كتابة الحجم $v = (2r)^3 = 8r^3 \dots\dots\dots(1)$

تعرف الكتلة الحجمية لمادة (الكثافة المطلقة) بأنها كتلة واحدة الحجم من هذه المادة في درجة حرارة محددة [الدويري أنور، عكفي سمر 2010] ، $\rho = m/v \dots\dots\dots(2)$

حيث: ρ الكتلة الحجمية للمادة g/cm^3 m كتلة المادة g v حجم المادة cm^3 ،
اعتمدنا الجملة السعنية gcs (غرام سم ثنائية) لأن الكتلة الجزيئية مسجلة بالغمم لكل مول. وأخذنا درجة الحرارة القياسية 20°C . القياس التجريبي للكتلة الحجمية أو الكثافة في المختبر أو اعتماد القيمة المرجعية لأجل الحسابات التالية لا يعطي فروق معنوية. يمكن حساب الكثافة في درجة حرارة مختلفة عن الدرجة المقيسة [نعال حسام وزملاؤه 2006] ،
اعتماداً على العلاقات المستخدمة لحساب الكثافة عند مختلف درجات الحرارة

$$d^t = d^t_1 - K (t - t_1) \quad [\text{Bailey A. E. 1993}] \quad \text{عندما يكون } t_1 < t$$

$$d^t = d^t_1 + K (t_1 - t) \quad \text{عندما يكون } t_1 > t$$

حيث: d^t كثافة السائل عند درجة الحرارة t_1 ، d^t كثافة السائل عند درجة الحرارة t ، K ثابت ويساوي 0.00068
 يمكن من العلاقة (2) استنتاج الحجم v بوحدة أنغستروم $(\text{Å})^3$ ، لجزيئة ماء حقيقية واحدة، حيث أن $1\text{cm}^3 = 10^{24} \text{Å}^3$
 وبالتالي في البعد الحجمي الثلاثي $1\text{cm}^3 = 10^{24} \text{Å}^3$ (وتبقى الكتلة الحجمية عند التعويض بالرقم المرجعي في
 العلاقة النهائية بوحدتها (g/cm^3) ثم من مساواة الحجم في العلاقتين (1) و (2) نحصل على العلاقة التالية:
 $\rho = 8r^3 / 10^{24} \text{m}^3$ ، ومن العلاقة السابقة نستنتج r نصف قطر الحيز المشغول بجزيئة ماء واحدة

$$r = (10^{24} \text{m} / 8 \rho)^{1/3} \dots\dots\dots(3)$$

حيث : r نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة الماء بوحدة Å ، ρ الكتلة الحجمية للماء g/cm^3
 m كتلة جزيئة الماء الحقيقية الواحدة بوحدة g ،

وتستنتج كتلة جزيئة ماء واحدة حقيقية كما يلي: بما أن كتلة الماء H_2O الجزيئية هي مجموع الكتل الذرية للنظير
 الأكثر شيوعاً لكل عنصر ، [IUPAC 2021] : $18.01528 \text{g/mol} = 15.9994 + 2 \times 1.00794$ ، وهذه الكتلة
 تحوي عدد أفوكادرو من الجزيئات الحقيقية 6.0221×10^{23} جزيئة حقيقية [الباني نبيل، 2008] ، وبالتالي كتلة الجزيئة
 الحقيقية من الماء هي: $m = 18.01528 / 6.0221 \times 10^{23} \text{g/real molecule}$ ، وباعتبار الكتلة الحجمية للماء
 المسجلة مرجعياً 0.99815g/cm^3 عند الدرجة 20°C [نعال حسام 2022]* ، نحسب r بعد تعويض المعطيات
 السابقة في العلاقة (3) فنجدها : $r = 1.55 \text{Å}$

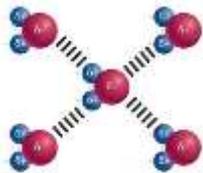
*بعض المراجع تعتمد الدرجة القياسية 25°C وفيها الكثافة مسجلة 0.9950g/cm^3 [O'Neil, M.J 2013] ، نحسب منه الكثافة عند
 الدرجة 20°C فنجدها 0.9984g/cm^3 ، لكن حتى لو استخدمنا كثافة ماء البحر التي تساوي عند الدرجة 25°C القيمة 1.025g/cm^3
 [van der Leeden et al 1990] ، لا يعطي فروق معنوية بالنسبة لنصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة الماء.

1-2 مقارنة نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة حقيقية من الماء بنصف قطر الجزيئة المحسوب اعتماداً على طول الرابطة



نقبل أن طول الرابطة المشتركة مجموع نصف قطرَي الذرتين المرتبطتين في الرابطة، فيكون نصف قطر جزيئة الماء
 هو عملياً مجموع نصف قطر ذرة أكسجين مع قطر ذرة هيدروجين H-O-H . ويبلغ نصف قطر ذرة الأكسجين 0.73Å
 Å ، بينما يبلغ نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.3Å [الباني نبيل، 2008]، وبالتالي فإن نصف قطر جزيئة الماء هو
 عملياً $r' = 0.3 \times 2 + 0.73 = 1.33 \text{Å}$ ، لدى مقارنة نصف قطر جزيئة الماء الفعلي المحسوب من أنصاف
 أقطار الذرات المكونة للجزيئة r' مع نصف قطر الحيز الذي تشغله الجزيئة عملياً r ، يمكننا استنتاج وجود فراغ في
 الحيز الذي تشغله كل جزيئة من الماء في المحلول، والبعد بين جزيئتين يمثل ضعف الفرق بين القيمتين r و r' (أي
 الفرق بين القطرين)، أي

$$2(r-r') = 2 \times (1.55 - 1.33) = 0.44 \text{Å}$$



أي على الرغم من قوة الرابطة الهيدروجينية يوجد تباعد بين جزيئات الماء في المحلول بمقدار 0.44Å ، فهل المركبات
 التي تملك روابط أضعف بين جزيئاتها كالألكانات لديها فراغ أكبر، سنبحث من ذلك في الفقرات التالية .

ملاحظة : عند حساب نصف قطر جزيئة الماء لم نحسب الطول بإسقاط الزوايا بسبب تباعدها ودورانها، لكن لو أردنا ذلك في هذه الحالة يجب إسقاط طول رابطة إحدى ذرتي الهيدروجين بالضرب بتجيب الزاوية 71° كما هو مبين في الشكل (1) (وليس قطر ذرة هيدروجين + نصف قطر ذرة أكسجين)



الشكل (1) الزاوية في جزيئة الماء

أي يكون مسقط طول جزيئة الماء $1.76A^\circ = (0.3*2+0.73)*\cos 71^\circ + (0.3*2+0.73)$ وفي هذه الحالة يكون طول نصف القطر $r=0.88A^\circ$ فيكون الفرق في هذه الحالة هو $2(r-r')=2*(1.55-0.88)=1.33 A^\circ$ لكن لكون جزيئات الماء متباعدة اعتمادنا حرية دورانها بكل الاتجاهات ومجموع أطوال الروابط للطول.

3-1 حساب نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة هكسان حقيقية واحدة من علاقة الكثافة والكتلة الجزيئية وعدد أفوكادرو



اعتماداً على العلاقة (3) السابقة نستنتج r_{Hex} نصف قطر الحيز المشغول بجزيئة هكسان واحدة

$$r_{Hex} = (10^{24} \text{ m} / 8 \rho)^{1/3}$$

بعد استنتاج كتلة جزيئة هكسان واحدة حقيقية كما يلي: بما أن كتلة الهكسان الجزيئية لمول واحد من C_6H_{14} هي

مجموع الكتل الذرية للنظير الأكثر شيوعاً لكل عنصر ، فكتلته المولية هي [IUPAC 2021] :

$$6 \times 12.0107 + 14 \times 1.00794 = 86.17536 \text{ g/mol}$$

هذه الكتلة تحوي عدد أفوكادرو من الجزيئات الحقيقية 6.0221×10^{23} جزيئة حقيقية [الباني نبيل، 2008] ، وبالتالي

$$m_{Hex} = 86.17536 / 6.0221 \times 10^{23} \text{ g/real molecule}$$

وباعتبار الكتلة الحجمية للهكسان (أو الكثافة) المسجلة مرجعياً 0.664 g/cm^3 محسوبة عند الدرجة 20°C

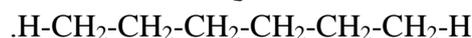
$$r_{Hex} = 3 A^\circ \text{ [Haynes, W.M 2011]} ، نحسب } r_{Hex} \text{ من العلاقة (3) فنجدها :}$$

4-1 مقارنة نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة حقيقية من الهكسان بنصف قطر الجزيئة المحسوب من أطوال الروابط



نقبل أن طول الرابطة المشتركة مجموع نصفي قطري الذرتين المرتبطتين في الرابطة، فيكون نصف طول جزيئة

الهكسان هو عملياً مجموع أنصاف أقطار 6 ذرات كربون مع قطر ذرة هيدروجين



يبلغ نصف قطر ذرة الكربون $0.77 A^\circ$ ، بينما يبلغ نصف قطر ذرة الهيدروجين $0.3 A^\circ$ [الباني نبيل، 2008]،

$$2 (2*0.3+6*0.77) = 10.44 A^\circ \text{ هو مترابطة}$$

لكن باعتبار جزيئة الهكسان بين ذراتها زاوية 109° ، ولإسقاط الطول الفعلي على المحور الأفقي يجب ضرب طول

الجزيئة بتجيب الزاوية المتممة لنصف زاوية الرابطة كما في الشكل (2)



الشكل (2) جزيئة الهكسان على شكل خط منكسر

وبالتالي فالطول العملي للجزيئة كخط منكسر هو $8.50 \text{ \AA} = 10.44 \cdot \cos 35.5^\circ$ ، أما نصف قطرها يمكن اعتباره نصف الرقم السابق أي يمكننا أن نكتب $r'_{\text{Hex}} = 8.50/2 = 4.25 \text{ \AA} > r_{\text{Hex}} = 3 \text{ \AA}$ مما يعني أن جزيئات الهكسان أكثر تقارباً من جزيئات الماء. حيث نجد أن نصف القطر المحسوب من طول الجزيئة مع حرية دورانها في المحلول أكبر من نصف القطر للحيز الفعلي الذي تشغله الجزيئة. وتفسير ذلك أن جزيئات الهكسان متلامسة، ولا تدور بحرية في كل الاتجاهات كما هو حال جزيئات الماء المتباعدة. كما يمكن توضيح ذلك من خلال الحسابات التالية:

فمن جهة ثانية يمكن اعتبار عرض الجزيئة هو المجموع لطول الرابطة كربون -كربون + طول الرابطة كربون-هيدروجين، من الطرفين H-C-C-H، أي هو قطر ذرتي كربون وذرتي هيدروجين، بالحساب نجد عرض الجزيئة دون حساب المسقط العمودي $4.28 \text{ \AA} = 2(0.3 + 2 \cdot 0.77)$

(وإن كان العرض الفعلي للجزيئة كخط منكسر هو المسقط العمودي $2.49 \text{ \AA} = 4.28 \cdot \cos 54.5^\circ$ لكن باعتبار دوران الروابط الأحادية المستمر بين الشكل المقرون والمفروق يجعل ضرورة حساب عرضها قبل الإسقاط عند حساب الحجم من شكلها، تماماً مثل حسابات جزيئة الماء لم نأخذ المساقط والشكل الهندسي للرابطة، ولكن أخذنا العرض كامل باعتبار حرية دورانها في المحلول)

يمكننا اعتبار الجزيئة أسطوانة، تشغل حجم متوازي مستطيلات قاعدته مربع طول ضلعه 4.28 \AA وطوله 9.84 \AA وبالتالي يمكن أن نحسب الحجم التالي (عند تقييد حرية دوران الجزيئة في المحلول) $V_{\text{Hex}} = 4.28 \cdot 4.28 \cdot 10.44 = 191.24 \text{ \AA}^3$

للحصول على نصف قطر للمقارنة مع نصف قطر الحيز الفعلي المشغول بالجزيئة r_{Hex} المحسوب من الكثافة، يجب اعتبار الجزيئة تشغل حجم مكعب طول ضلعه $2r''_{\text{Hex}}$ ، وحجمه V_{Hex} يمكننا أن نكتب $r''_{\text{Hex}} = 2.88 \text{ \AA}$ ، وبالتالي بالجزر التكعيبي $r''_{\text{Hex}} = 191.24/8$

يمكننا استنتاج وجود فراغ في الحيز الذي تشغله كل جزيئة من الهكسان في المحلول يمثل ضعف الفرق بين القيمتين r''_{Hex} و r_{Hex} (أي الفرق بين القطرين): $0.24 \text{ \AA} < 0.44 \text{ \AA} = 2(r_{\text{Hex}} - r''_{\text{Hex}}) = 2(3 - 2.88)$ يمكننا اعتبار جزيئات الهكسان أكثر تقارباً من جزيئات الماء في المحلول، وأنها تتلامس عندما تحاول الدوران بحرية في كل الاتجاهات.

1-5 حساب نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة هبتان حقيقة واحدة من علاقة الكثافة والكتلة الجزيئية وعدد أفوكادرو



بشكل مشابه لما سبق عند حساب نصف قطر جزيئة الهكسان، اعتماداً على العلاقة (3) السابقة نستنتج r_{Hep} نصف قطر الحيز المشغول بجزيئة هبتان واحدة $r_{\text{Hep}} = (10^{24} \text{ m} / 8 \rho)^{1/3}$

بعد استنتاج كتلة جزيئة هكسان واحدة حقيقية كما يلي: بما أن كتلة الهكسان الجزيئية لمول واحد من C_7H_{16} هي مجموع الكتل الذرية للنظير الأكثر شيوعاً لكل عنصر ، فكتلته المولية هي [IUPAC 2021] :

$$.H-CH_2-CH_2- CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-H ، 7 \times 12.0107 + 16 \times 1.00794 = 100.2 \text{ g/mol}$$

هذه الكتلة تحوي عدد أفوكادرو من الجزيئات الحقيقية 6.0221×10^{23} جزيئة حقيقية [الباني نبيل، 2008] ، وبالتالي

$$m_{Hep}=100.2 / 6.0221 \times 10^{23} \text{ g/real molecule} \text{ هي: كتلة الجزيئة الحقيقية من الهكسان}$$

وباعتبار الكتلة الحجمية للهكسان (أو الكثافة) المسجلة مرجعياً 0.682 g/cm^3 محسوبة عند الدرجة $20^\circ C$



$$r_{Hep} = 3.17 \text{ \AA} \text{ ، نحسب } r_{Hep} \text{ من العلاقة (3) فنجدها : } r_{Hep} = 3.17 \text{ \AA}$$

1

6- مقارنة نصف قطر الحيز الذي تشغله جزيئة حقيقية من الهبتان بنصف قطر الجزيئة المحسوب من أطوال الروابط



إن نصف طول جزيئة الهبتان هو عملياً مجموع أنصاف أقطار 7 ذرات كربون مع قطر ذرة هيدروجين، يبلغ نصف قطر ذرة الكربون 0.77 \AA ، بينما يبلغ نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.3 \AA [الباني نبيل، 2088]، وبالتالي فإن طول جزيئة الهبتان كذرات مترابطة هو 11.98 \AA ($2 * 0.3 + 7 * 0.77$) ، لكن باعتبار جزيئة الهبتان بين ذراتها زاوية 109° ، ولإسقاط الطول الفعلي على المحور الأفقي يجب ضرب طول الجزيئة بتجيب الزاوية المتممة لنصف زاوية الرابطة كما لاحظنا سابقاً في الشكل (1) ، وبالتالي فالطول العملي للجزيئة كخط منكسر هو $11.98 * \cos 35.5 = 9.75 \text{ \AA}$ ، ومن الواضح أن حرية حركة الجزيئة ودورانها في المحلول بكل الاتجاهات تعطي أن نصف قطرها يمكن اعتباره نصف الرقم السابق أي يمكننا أن نكتب: $r'_{Hep} = 8/2 = 4.88 \text{ \AA} > r_{Hep} = 3.17 \text{ \AA}$ ، مما يعني أن جزيئات الهبتان أكثر تقارباً من جزيئات الماء. حيث نجد أن نصف القطر المحسوب من طول الجزيئة مع حرية دورانها في المحلول أكبر من نصف القطر للحيز الفعلي الذي تشغله الجزيئة. وتفسير ذلك أن جزيئات الهبتان متلامسة، ولا تدور بحرية في كل الاتجاهات كما هو حال جزيئات الماء المتباعدة. ولا داعي لتوضيح ذلك أكثر.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

يهدف البحث لدراسة التناقض الحاصل بين قوة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء والتي ترفع درجة غليانه، مع تباعد تلك الجزيئات، بدل أن تساهم قوة الرابطة في تقاربها، خلافاً للهكسان والهبتان اللذان تربط بين جزيئاتهما روابط فاندرفالس الضعيفة، وجزيئاتهما متلامسة، مما يدفعنا للتساؤل هل من الممكن أن يكون حجم جزيئة الماء أكبر مما نعرفه، أي ذات كتلة جزيئية أكبر من المسجل مرجعياً. أم أن هناك قوى أخرى تعمل على إبعاد الجزيئات عن بعضها البعض. قبل استنتاج وجود قوى تتأفر بين الجزيئات يجب التحقق من الكتلة الجزيئية للماء. ثم تفسير سبب التباعد. تتلخص خطة عمل البحث بما يلي:

- 1- تجفيف ببطء شديد لعينة لملاح معياري معروف الكتلة المولية، ومعروف عدد جزيئات الماء فيه، هو ملح ثيوكبريتات الصوديوم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، وذلك حتى ثبات الوزن.
 - 2- التحقق من كمية الملح الجاف بالمعايرة أيضاً، لتأكيد أننا فعلاً وصلنا للجفاف التام.
 - 3- حساب كتلة الماء المفقود من أجل جزيئة غرامية (مول) من الملح. لحساب الكتلة الجزيئية الغرامية للماء (الكتلة المولية)، والتأكد من مطابقتها للقيمة المرجعية.
 - 4- تكرار الخطوات السابقة مع ملح آخر عدد جزيئات الماء فيه أقل بجزيئة واحدة، هو ملح كبريتات النحاس $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ الأزرق الذي يتحول إلى اللون الأبيض بعد الجفاف التام. وتحديد الكتلة المولية للماء مرة ثانية .
 - 5- حساب الفرق في الكتلة المفقودة من أجل مول لكل من الملحين السابقين والتي يجب أن تطابق الكتلة المولية لجزيئة ماء واحدة، للتحقق مرة ثالثة.
 - 6- مقارنة وتفسير النتائج
- هدف البحث:** يعالج فكرة ربط الكثافة بحجم جزيئة المادة، ثم البحث عن سبب التفاوت وتفسير تباعد جزيئات الماء رغم قوة الرابطة الهيدروجينية. والتأكد من الكتلة الجزيئية للماء بالحساب عدة مرات باستخدام أبسط التقنيات المخبرية المتاحة لدينا. ثم استنتاج سبب مقبول يفسر التباعد الحاصل.

طرائق البحث ومواده:

1- الأجهزة المستخدمة: Instrumentation

ميزان إلكتروني من إنتاج شركة Sartorius الألمانية، دقته $\pm 0,01\text{g}$. **بكنومتر** (دورق زجاجي دقيق الحجم يستخدم لقياس كثافة السائل)، وأنواع عديدة من أدوات قياس حجوم السوائل بدقة (دورق حجمية - مقاييس مدرجة - ماصات) من صنع شركة ILAMBOR TGI وشركة SUPERAIOR MARIENFELD الألمانية. **مجفف** $0-90^\circ\text{C}$ صنع شركة Thermal Top الانكليزية (Netherland Instrument MUN,V.) - **سحاحات** ودورق معايرة مخروطية وبياسر، أجاصات مطاطية، زجاجات مواد، أنابيب اختبار، ومختلف الأدوات الزجاجية المخبرية. من صنع شركتي ILAMBOR TGI و SUPERAIOR MARIENFELD الألمانية.

2- المواد المستخدمة: Materials

المواد: ثيوكبريتات الصوديوم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ من إنتاج شركة MERCK الألمانية. واليود I_2 من إنتاج شركة MERCK الألمانية. يوديد البوتاسيوم KI من إنتاج شركة BELAMI FINE CHEMICALS الهندية. كبريتات النحاس $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ من إنتاج شركة SURECHEM PRODUCTS SCP الانكليزية. **المحلات:** ماء ثنائي التقطير محضر مخبرياً، والإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ إنتاج شركة سكر حمص، توزيع المؤسسة العامة للتجارة الخارجية فارمكس فرع اللاذقية - سوريا (لتحضير محلول الفينول فتالئين)، والكلوروفورم CHCl_3 من إنتاج شركة دمر واولاده عدرا - المدينة الصناعية - سورية (بالتعاون مع شركة فيشر الألمانية) . لتغليف الراسب عند معايرة النحاس، رباعي كلور الكربون CCl_4 من إنتاج شركة MERCK الألمانية لتغليف الراسب عند معايرة النحاس، الهكسان C_6H_{14} والهبتان C_7H_{16} من صنع شركة MERCK الألمانية. **الحموض:** حمض الكبريت المركز H_2SO_4 من إنتاج شركة MERCK الألمانية. **القلويات:** هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH وكربونات الصوديوم

Na_2CO_3 من إنتاج شركة MERCK الألمانية. لضبط عيارية محلول حمض الكبريت. **المشعرات:** مشعرالفينول فتالئين، ومشعر برتقالي المتيل، والنشاء من صنع شركة MERCK الألمانية. نشاء Starch من صنع شركة Schrlab S.L. الإسبانية.

3-3. طرائق العمل المتبعة في حساب الكتلة المولية للماء من ملح ثيوكبريتات الصوديوم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

3-1. طرائق العمل المتبعة في تجفيف ملح ثيوكبريتات الصوديوم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

تبدأ ثيوكبريتات الصوديوم بالتفكك في حال رفع درجة الحرارة إلى 100°C [David R. Lide 2005]، لذلك يجب تم التجفيف ببطء شديد عند الدرجة 90°C لمدة شهرين، حيث اعتبرنا الملح جاف تماماً بعد معايرة الملح الجاف $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ باليود (الفقرة التالية). تم التجفيف وفق الخطوات التالية: يؤخذ 10g من ملح ثيوكبريتات الصوديوم المائية $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ وتجفف في فرن عند الدرجة 90°C . ثلاث مكررات . كل أسبوع تبرد العينات وتوزن من جديد حتى ثبات الوزن. بعد ثبات الوزن يتم التحقق من الجفاف التام بمعايرة الملح الجاف. ويسجل الوزن المفقود من الماء.

3-2. طرائق العمل المتبعة في معايرة الملح الجاف $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:

معايرة الثيوكبريتات باليود من معايرات الاكسدة والارجاع [معروف محمد 2008]، يعاير ملح ثيوكبريتات الصوديوم الجاف باليود بوجود مطبوخ النشاء $\text{I}_2(\text{Starch indicator blue}) + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{NaI}(\text{Colorless}) + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$

يعتبر ملح ثيوكبريتات الصوديوم أحادي الوظيفة عندما يستخدم لمعايرة اليود الحر [أبودان محمود 1988].

تحضير المحاليل: نحضر محلول 0.05M من ملح ثيوكبريتات الصوديوم الجاف $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ، ذو الكتلة المولية 158.11 g/mol [David R. Lide 2005]، بأخذ 0.79g من الملح في دورق حجمي 100ml واتمام الحجم بالماء المقطر. نحضر محلول اليود I_2 ذو الكتلة المولية 126.9g/mol في يوديد البوتاسيوم بتركيز 0.1M ، يؤخذ 12.69g من اليود I_2 مع 30g من يوديد البوتاسيوم KI في دورق حجمي سعة 1L ويتم الحجم بالماء المقطر ، وبالتالي نحصل على محلول تركيز اليود فيه 0.1M . لتحضير محلول حمض الكبريت يؤخذ 5g من حمض الكبريت (98%) في دورق حجمي سعة 1L ويتم الحجم بالماء المقطر، نحصل على محلول بتركيز 0.1 N . لتحضير محلول النشاء يؤخذ 1g من النشاء الذواب في الماء في 50ml ماء مقطر فاتر ويسخن بلطف حتى الغليان ويستمر الغليان 5 دقائق ثم يبرد وينقل إلى دورق حجمي سعته 100ml ويتم الحجم بالماء المقطر، وبالتالي نحصل على محلول تركيزه 1% وزن/حجم. [نعال حسام وزملاؤه 2006].

طريقة المعايرة:

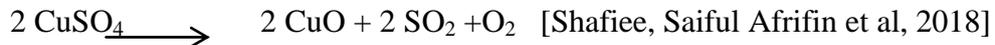
1. نضع في سحاحة محلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M
2. نأخذ في دورق مخروطي 10ml محلول اليود 0.1M مع 2ml محلول حمض الكبريت 0.1N ، مع 30ml ماء مقطر نحرك جيداً
3. نبدأ بمعايرة يعاير اليود I_2 بثيوكبريتات الصوديوم 0.05M ببطء بدون مشعر حتى قرب زوال اللون البني لليود.
4. قبل نهاية المعايرة نضيف مشعر مطبوخ النشاء فيتلون المحلول باللون الأزرق
5. نتابع المعايرة حتى زوال اللون الأزرق . يجب أن نستهلك من محلول ثيوكبريتات الصوديوم 20ml لكل 10ml من محلول اليود، هذا يدل على أن الملح جاف تماماً. وقد تحقق ذلك تجريبياً.

3-3. حساب الكتلة المولية للماء M_{H_2O} : نحسب كتلة الماء المتبخر الموافق لـ 1mol من الملح الجاف الذي تمت معايرته. كما يلي: إن الكتلة المولية للملح الجاف $Na_2S_2O_3$ تبلغ 158.11 g/mol ، أما الكتلة المولية للملح قبل التجفيف $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ فتبلغ 248.86 g/mol ، نحسب كتلة الماء المتطاير من المكررات الثلاث لـ 10g من الملح الرطب، ومن أجل حساب نسبة الماء المتطاير عند تجفيف مول من الملح الرطب، نضرب هذه الكتلة المحسوبة بالرقم $24.8886 = 248.86 \div 10$ فنحصل على كتلة $5H_2O$. (أو نضرب بالنسبة التالية: الكتلة المولية للملح الجاف 158.11 مقسومة على/ كتلة الملح الجاف الناتج عن تجفيف 10g من كبريتات الصوديوم المائية)، تمثل الكتلة الناتجة كتلة 5 جزيئات غرامية من الماء. بقسمة الناتج على 5 نحصل على الكتلة المولية للماء مقدره بوحدة g/mol

4. طرائق العمل المتبعة في حساب الكتلة المولية للماء من ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$:

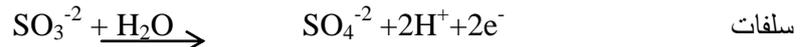
4-1. طرائق العمل المتبعة في تجفيف ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$:

تشير المراجع الحديثة، أن تقدير عدد جزيئات الماء في ملح كبريتات النحاس الزرقاء، ليس دقيقاً عند رفع درجة حرارة الفرن أكثر من $100^\circ C$ حيث يتفكك قسم من الملح $CuSO_4$ وفق المعادلة التالية:



وفق ما سبق لا نستبعد أن يحدث بعدها تفاعل أكسدة وإرجاع بين محلول SO_2 الناتج في الماء (يتشكل حمض

الكبريتي من بخار الماء مع الغاز H_2SO_3 حيث تتأكسد شرسبات السلفيت إلى

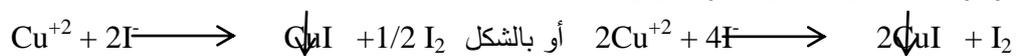


مقابل إرجاع النحاس من ثنائي لأحادي $Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow 2Cu^+$

يمكن ملاحظة التفكك الحاصل عند رفع درجات حرارة التجفيف بانطلاق SO_2 وتشكل أكسيد النحاس الاسود CuO بسهولة بالعين المجردة بسبب اللون الأسود للأكسيد، عندما تتفكك نسبة معتبرة. بناءً على ما سبق تم تجفيف الملح ببطء عند الدرجة $90^\circ C$ بالطريقة التالية: يؤخذ 10g من ملح كبريتات النحاس المائية $CuSO_4 \cdot 4H_2O$ وتجفف في فرن عند الدرجة $90^\circ C$. ثلاث مكررات . كل أسبوع تبرد العينات وتوزن من جديد حتى ثبات الوزن. بعد ثبات الوزن يتم التحقق من الجفاف التام بمعايرة الملح الجاف (الفقرة التالية). ويسجل الوزن المفقود من الماء.

4-2. طرائق العمل المتبعة في معايرة الملح الجاف $CuSO_4$: تمت معايرة وتحديد ملح كبريتات النحاس المائية

معايرة غير مباشرة بملح ثيوكبريتات الصوديوم [معروف محمد 2008] ، تم تحضير محلول كبريتات النحاس على أساس الكتلة المولية الموافقة لوجود 4 جزيئات ماء، بتركيز 0.05M، ثم ترسيب النحاس بمحلول يوديد البوتاسيوم KI بتركيز 5% بوجود حمض الكبريت وفق المعادلة:



يعاير اليود الناتج بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M بوجود مطبوخ النشاء



نلاحظ من كلا المعادلتين أن المركبات تتفاعل مع اليود بوظيفة واحدة. وبالتالي عدد مكافئات ثيوكبريتات الصوديوم يساوي عدد مكافئات كبريتات النحاس، (وعدد المولات يساوي عدد المكافئات، حيث أن كلا الملحين المتفاعلين مع اليود يعتبر أحادي الوظيفة في هذه المعايرة).

إن قسم من شوارد اليود الناتجة I_2 قابلة للادمصاص على سطح الراسب الناتج CuI ، لذلك يجب تغليف الراسب بعد الترسيب [معروف محمد 2008]، لذلك يجب تغليف الراسب بمذيب عضوي أثقل من الماء، مثل الكلوروفورم $CHCl_3$ أو رابع كلور الكربون CCl_4 .

تحضير المحاليل: نحضر محلول 0.05M من ملح كبريتات النحاس الجاف $CuSO_4$ ، ذو الكتلة المولية 159.61 g/mol [David R. Lide 2005]، بأخذ 0.8g من الملح في دورق حجمي 100ml وإتمام الحجم بالماء المقطر. ونحضر محلول 0.05M من ملح ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ، ذو الكتلة المولية 248.186 g/mol [David R. Lide 2005]، بأخذ 12.41g من الملح في دورق حجمي 1L وإتمام الحجم بالماء المقطر. نحضر محلول يوديد البوتاسيوم KI بتركيز 5%، بحل 5g من ملح يوديد البوتاسيوم في قليل من الماء المقطر ثم نقله إلى دورق حجمي سعة 100ml وإتمام الحجم بالماء المقطر. يؤخذ 10g من حمض الكبريت (98%) في دورق حجمي سعة 100ml ويتم الحجم بالماء المقطر، وبالتالي نحصل على محلول لحمض الكبريت بتركيز 1M. تحضير محلول النشاء مر في الفقرة 2-3-2 [نعال حسام وزملاؤه 2006].

طريقة المعايرة:

1. نملاً السحاحة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M
2. نأخذ في دورق مخروطي 10ml محلول كبريتات النحاس 0.05M مع 2ml محلول حمض الكبريت 1M، نضيف 5ml رابع كلور الكربون CCl_4 لتغليف الراسب الأبيض من CuI الذي سينتج في الخطوة التالية لمنع ادمصاص شوارد اليود المتحرر عليه، نحرك جيداً.
3. نضيف 30ml محلول يوديد البوتاسيوم KI بتركيز 5%، نحرك جيداً
4. نبدأ بمعايرة يعاير اليود الناتج I_2 بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M ببطء بدون مشعر حتى قرب زوال اللون البني لليود.
5. قبل نهاية المعايرة نضيف مشعر مطبوخ النشاء فيتلون المحلول باللون الأزرق
6. نتابع المعايرة حتى زوال اللون الأزرق

بملاحظة أن كلا الملحين المستخدمین في هذه المعايرة احادي الوظيفة، وحساب التراكيز بالنظامي

$$N_{Cu+2} V_{Cu+2} = N_{S_2O_3-2} V_{S_2O_3-2}$$

أو التركيز المولاري $N_{Cu+2} = N_{Cu+2}/1 = N_{Cu+2}/n = M_{Cu+2}$ حيث n يمثل عدد الوظائف وهو يساوي عدد الالكترونات المتبادلة في معايرات الاكسدة والارجاع الموافقة لتفاعل جزيئة واحدة من المركب وقيمته $n=1$ في معادلاتنا السابقة. تبين التجربة العملية أن معايرة 10ml من كبريتات النحاس 0.05M، تستهلك تماماً 10ml من محلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M بعد الجفاف التام للملح. بشرط عدم نسيان تغليف الراسب، الذي يتلون في حال عدم تغليفه بلون اليود الحر الناتج في المحلول ويصعب إتمام المعايرة بدقة.

24-3. حساب الكتلة المولية للماء مرة ثانية M_{2H_2O} : نحسب كتلة الماء المتبخر الموافق لـ 1mol من الملح الجاف الذي تمت معايرته. كما يلي: إن الكتلة المولية للملح الجاف $CuSO_4$ تبلغ 159.61g/mol، أما الكتلة المولية للملح قبل التجفيف $CuSO_4 \cdot 4H_2O$ فتبلغ 231.67 g/mol، نحسب كتلة الماء المتطاير من المكررات الثلاث لـ 10g من الملح الرطب، ومن أجل حساب نسبة الماء المتطاير عند تجفيف مول من الملح الرطب، نضرب هذه الكتلة المحسوبة

بالرقم $23.167 = 231.67 \div 10$ فنحصل على كتلة $4H_2O$. (أو نضرب بالنسبة التالية: الكتلة المولية للملح الجاف 159.61 مقسومة على/ كتلة الملح الجاف الناتج عن تجفيف $10g$ من كبريتات الصوديوم المائية)، تمثل الكتلة الناتجة كتلة 4 جزيئات غرامية من الماء. بقسمة الناتج على 4 نحصل على الكتلة المولية للماء مقدره بوحدة g/mol

5- حساب الكتلة المولية للماء مرة ثالثة M_{3H_2O} من فرق الماء المفقود بين جزيئة غرامية من ملح ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ وجزيئة غرامية من ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$: إن الفرق بين كتلة 5 جزيئات من الماء (الفقرة 2-3-3) وكتلة 4 جزيئات منه (الفقرة 2-4-3 السابقة) تمثل كتلة جزيئة غرامية واحدة من الماء أي تمثل الفرق الفارق $(5H_2O - 4H_2O)$. تبين التجارب العملية أن الكتلة المولية المرجعية محققة كما سيرد في النتائج والمناقشة.

النتائج والمناقشة:

1. حساب الكتلة المولية للماء من ملح ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$:

3-1. نتائج تجفيف ملح ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$:

حصلنا من تجفيف $10g$ من ملح ثيوكبريتات الصوديوم المائية على النتائج التالية الواردة في الجدول (1)، حسبنا الارتياب المطلق (فرق القيمة الحقيقية المتوقعة عن القيمة التجريبية الفعلية للوزن Δm أو ما نرمز له الارتياب المطلق (absolute deviation) AD و الارتياب النسبي المئوي (معدل النسبة المئوية للارتياب المطلق) (the AAD% (the percentage of average absolute deviation) هذا عند قياس الانحراف عن القيمة الحقيقية المعروفة [نعال حسام 2022]، واستخدمنا الرموز SD للارتياب المطلق والرمز %RSD للانحراف النسبي المئوي، استخدام الاخيرة شائع. وحيث أن كتلة $Na_2S_2O_3$ جاف ذو الكتلة المولية $158.11 g/mol$ في $10g$ من الملح الرطب لملح $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ذو الكتلة المولية $248.17374 g/mol$ يوافق $6.370g$ (كتلة الماء فيه $3.63g$) ، فقد حسبنا الارتياب المطلق بالانحراف عن الرقم $6.370g$. وبالقسمة على الرقم السابق ثم الضرب ب 100 حسبنا الارتياب النسبي المئوي كما هو وارد في الجدول (1)

الجدول (1): نتائج تجفيف ملح ثيوكبريتات الصوديوم

RSD%	SD g	الكتلة الموافقة لـ جاف $Na_2S_2O_3$ g	الكتلة بعد الجفاف التام g	كتلة بيشر مع $10g$ ملح $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	كتلة بيشر (الكأس) فارغ g	العينة
0.31%	0.02	6.39	26.36	30.00	20.00	1
0.62%	0.04	6.41	26.75	30.34	20.34	2
0.47%	0.03	6.40	26.80	30.40	20.40	3

1-2. معايرة الملح الجاف $Na_2S_2O_3$:

تم التحقق من الجفاف التام لملح ثيوكبريتات الصوديوم بعد ثبات الوزن، بمعايرة $10ml$ من محلول اليود ذي التركيز $0.1M$ بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم $0.05M$ المحضر من الملح الجاف، حيث استهلكت هذه المعايرة $20ml$ من المحلول، وهذا يدل على أن الملح جاف تماماً.

3-1. حساب الكتلة المولية للماء M_{1H_2O} : نورد في الجدول (2) كتلة الماء المتبخر في العينات المدروسة، وحسابات هذه الكتلة لمول من الملح المجفف، ثم الكتلة المولية المحسوبة لجزيئة الماء. مع حساب الانحراف المطلق والنسبي عن الكتلة المولية المرجعية 18.015 g/mol [Haynes, W.M. 2011].

الجدول (2): نتائج حساب الكتلة المولية للماء

العينة	كتلة الماء المتبخر g	كتلة الماء المتبخر من مول من الملح $(5H_2O)g$	كتلة جزيئة غرامية واحدة من الماء g/mol	الكتلة المولية المتوسطة للماء g/mol	SD g	RSD%
1	3.61	89.32	17.86	17.77	0.25	1.38
2	3.59	88.55	17.71			
3	3.60	88.93	17.79			

نلاحظ أن الانحراف النسبي أقل من 5% وبالتالي لا يوجد فرق معنوي، فالكتلة المولية محققة، ويعزى الفارق لأسباب تتعلق بكون الوزن الذري **atomic weight** معدل وسطي لأوزان نظائر العنصر وسطياً [الباني نبيل، 2008]، فعلى سبيل المثال الوزن الذري للكبريت $S = 32.065$ [Haynes, W.M. 2011] (بينما الكتلة الذرية **atomic mass** مجموع عدد البروتونات مع النيوترونات، وهي مثلاً لعنصر الكبريت $S = 32$ ، ونفضل حساب الكتلة المولية من الأوزان الذرية، لكن لا يوجد فرق معنوي لو حسبنا الكتل المولية من الكتل الذرية إلا أنه مخالف للعرف المتبع، ولا نستخدم تعبير الوزن المولي وإن كان مستخدماً لأننا في مصطلحات الفيزياء في اللغة العربية نستخدم تعبير كتلة لوادة g وقد نطلق تعبير الوزن للكتلة مضروبة بتسارع الجاذبية الأرضية $F=mg$ أي قوة الثقالة مقدرة بالنيوتن N وإن كانت الترجمة الحرفية في جداول المراجع لتعبير **Mol. Weight** [Haynes, W.M. 2011] و [David R. Lide 2005] (هي الوزن المولي)

2. حساب الكتلة المولية للماء من ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$:

1-2. تجفيف ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$:

حصلنا من تجفيف $10g$ من ملح كبريتات النحاس الزرقاء على النتائج التالية الواردة في الجدول (3)، وبما أن كتلة $CuSO_4$ جاف ذو الكتلة المولية 159.61 g/mol في $10g$ من الملح الرطب لملاح $CuSO_4 \cdot 4H_2O$ ذو الكتلة المولية 231.67 g/mol يوافق $6.89g$ (كتلة الماء فيه $3.11g$)، وقد حسبنا الارتياح المطلق والارتياح النسبي المئوي كما هو وارد في الجدول

الجدول (3): نتائج تجفيف ملح كبريتات النحاس الزرقاء

العينة	كتلة بيشر (الكأس) فارغ g	كتلة بيشر مع $10g$ ملح $CuSO_4 \cdot 4H_2O$	الكتلة بعد الجفاف التام g	الكتلة الموافقة لـ $CuSO_4$ جاف g	SD g	RSD%
1	20.12	30.12	27.02	6.90	0.01	0.15%
2	20.33	30.33	27.23	6.90	0.01	0.15%
3	20.06	30.06	27.06	7.00	0.11	1.6%

2-2. معايرة الملح الجاف $CuSO_4$: تم التحقق من الجفاف التام لملاح كبريتات النحاس الأبيض الناتج بعد ثبات الوزن، بتحضير محلول بتركيز 0.05M منه، ولدى معايرته معايرة غير مباشرة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم 0.05M ، استهلكت هذه المعايرة 10ml من محلول ثيوكبريتات الصوديوم ، وهذا يدل على أن الملح جاف تماماً.

2-3. حساب الكتلة المولية للماء مرة ثانية M_{2H_2O} :

نورد في الجدول (4) كتلة الماء المتبخر في العينات المدروسة، وحسابات هذه الكتلة لمول من الملح المجفف، ثم الكتلة المولية المحسوبة لجزيئة الماء. مع حساب الانحراف المطلق عن الكتلة المولية الحقيقية المسجلة مرجعياً [Haynes, W.M. 2011] 18.015 g/mol ، وكذلك الانحراف النسبي المئوي

الجدول (4): نتائج حساب الكتلة المولية للماء مرة ثانية

العينة	كتلة الماء المتبخر g	كتلة الماء المتبخر من المول من الملح $(4H_2O)g$	كتلة جزيئة غرامية واحدة من الماء g/mol	الكتلة المولية المتوسطة للماء g/mol	SD g	RSD%
1	3.1	71.71	17.93	17.65	0.36	2
2	3.1	71.71	17.93			
3	3	68.40	17.1			

نلاحظ أن الانحراف النسبي أقل من 5% وبالتالي لا يوجد فرق معنوي، فالكتلة المولية المرجعية محققة.

3. حساب الكتلة المولية للماء مرة ثالثة M_{3H_2O} من فرق الماء المفقود بين جزيئة غرامية من ملح ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ وجزيئة غرامية من ملح كبريتات النحاس الزرقاء $CuSO_4 \cdot 4H_2O$ التي تمثل الفارق $(5H_2O - 4H_2O)$:

نورد في الجدول (5) الكتلة المحسوبة تجريبياً لـ $5 H_2O$ خمس جزيئات ماء، وكذلك لـ $4H_2O$ ، والفارق بينهما الذي يمثل الكتلة المولية للماء، مع حساب الارتياح المطلق والنسبي بالمقارنة مع الكتلة المولية المرجعية.

الجدول (5): نتائج حساب الكتلة المولية للماء مرة ثالثة

العينة	كتلة خمس جزيئات ماء $(5H_2O)g$	كتلة أربع جزيئات ماء $(4H_2O)g$	الفرق ويمثل كتلة جزيئة غرامية واحدة $H_2O g/mol$	الكتلة المولية المتوسطة للماء g/mol	SD g	RSD%
1	89.32	71.71	17.61	18.32	0.31	1.74
2	88.55	71.71	16.84			
3	88.93	68.40	20.53			

نلاحظ أن الانحراف النسبي أقل من 5% وبالتالي لا يوجد فرق معنوي، فالكتلة المولية المرجعية محققة. مما يعني

أن حجم جزيئة الماء ليس أكبر من المدروس مرجعياً، وجزيئات الماء متباعدة.

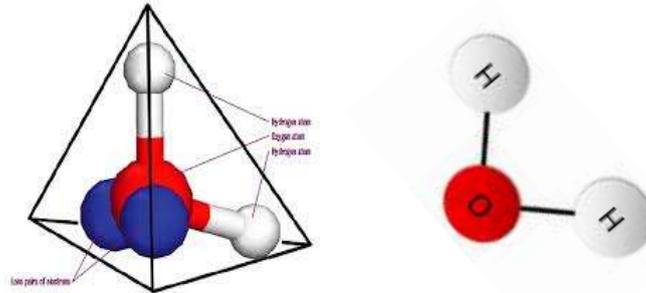
4- مقارنة وتفسير النتائج:

4-1- قطبية جزيئة الماء:

يدفعنا تباعد جزيئات الماء للبحث عن السبب، وعن القوى التناافر التي تقاوم قوة الرابطة الهيدروجينية، والأخيرة تعتبر أقوى أنواع الروابط بين الجزيئات بشهادة درجة غليان الماء.

تملك جزيئة الماء عزم ثنائي قطب يبلغ 1.8546 ديبياي [Haynes, W.M. 2011]، بينما لا يملك كل من الهكسان والهبتان مثل هذا العزم. يعود السبب فيه لفرق الهرسلبية بين الأكسجين والهيدروجين من جهة، حيث أن كهرسلبية الهيدروجين 2.1 وكهرسلبية الأكسجين 3.5 حسب باولينغ [مصطفى شهيد وزملاؤه 1994] ، والفرق بينهما 1.4 ، يجعل الرابطة قطبية بين الهيدروجين والأكسجين. على حين نجد عند مقارنة كهرسلبية الهيدروجين بكهرسلبية الكربون 2.5، فارق ضئيل 0.4، في الهكسان والهبتان.

لكن من جهة ثانية تملك جزيئة الماء زاوية 109° بين الرابطتين في الجزيئة، مما يعطيها عزم ثنائي قطب، حيث تصبح ذرتي الهيدروجين في جهة وذرة الأكسجين في جهة. الشكل (2) وجود الزاوية في جزيئة الماء.



الشكل (2)، الهرمي لجزيئة الماء (الزاوية 109° في مركز رباعي الوجوه المنتظم)

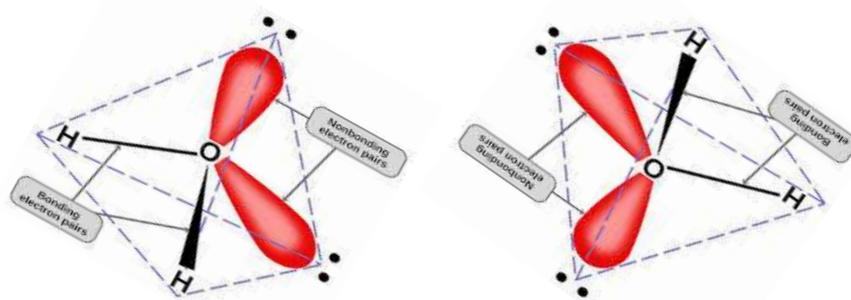
يفترض أن يزيد ذلك قوة الرابطة بين الجزيئات، وهذا محقق بارتفاع درجة الغليان. فكيف نشأت قوى التناافر إذا التي

تعمل على إبعادها؟



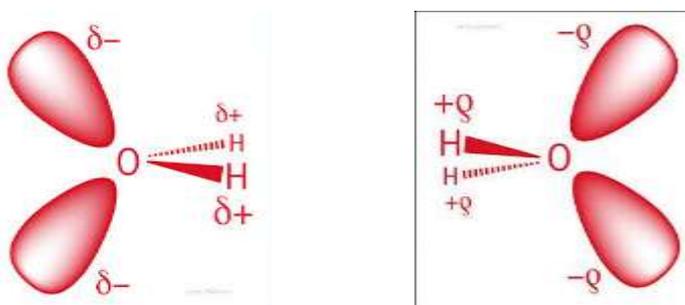
4-2- منشأ قوى التناافر:

كون جزيئة الماء خفيفة جداً 18.015g/mole من جهه، وكونها ذات شكل كروي تقريباً لأن الهيدروجين 1g/mole أصغر حجماً بكثير من الأكسجين 16g/mole ، يمكنها الدوران بسرعة وحرية في المحلول، وهنا يساهم الزوج الإلكتروني غير الرابط على ذرة الأكسجين المشحونة بشحنة جزئية سالبة δ^- ، وكذلك ذرات الهيدروجين المشحونة بشحنة جزئية موجبة δ^+ ، عند المرور في وضعية التقابل أثناء الدوران في توليد قوة تناافر. يبين الشكل (3) وضعية محتملة لتناافر الأزواج الإلكترونية غير الرابطة لجزيئتي ماء أثناء دورانها في المحلول.



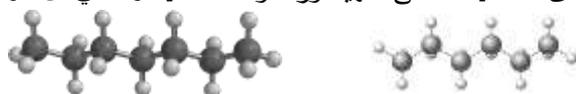
الشكل (3) وضعية تتولد فيها قوة تنافر الأزواج الإلكترونية غير الرابطة لجزيئي ماء أثناء دورانها في المحلول

وكذلك ذرات الهيدروجين المشحونة بشحنة جزئية موجبة δ^+ ، عند المرور في وضعية التقابل أثناء الدوران في توليد قوة تنافر. يبين الشكل (4) وضعية محتملة لتنافر ذرات الهيدروجين لجزيئي ماء أثناء دورانها في المحلول.



الشكل (4) وضعية محتملة لتنافر ذرات الهيدروجين لجزيئي ماء أثناء دورانها في المحلول

نستنتج في هذه الحالة أنه يحدث توازن بين قوتي تنافر لحظيتين، هما قوة تنافر الشحن المتماثلة الموجبة أو السالبة في جزيئة الماء، مع القوة الكبيرة للرابطة الهيدروجينية، مما يجعل وجود زاوية في جزيئة الماء وعزم ثنائي القطب الذي يربط الجزيئات بقوة، يساهم أيضاً في إبعادها عن بعضها البعض. يبقى هذا التفسير مقبولاً ما لم يثبت في المستقبل احتمال آخر لحجم الجزيئة. لا توجد في جزيئات مثل الهكسان والهيبتان قوى تنافر مثل جزيئات الماء لسببين، أحدهما أن فرق الكهرسلبية بين الكربون 2.5 والهيدروجين 2.1 ضئيل لا يتعدى 0.4 [مصطفى شهيد وزملاؤه 1994]، والثاني أن ذرات الهيدروجين ليست في جهة واحدة.



الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- 1- إن جزيئات الماء متباعدة على الرغم من قوة الربط الهيدروجيني فيما بينها أكثر من جزيئات الهكسان والهيبتان.
- 2- هناك قوى تنافر آتية بين ذرات الأكسجين المحملة بشحنة جزئية سالبة وأزواج الكترونية غير رابطة تساهم في التباعد أثناء دوران الجزيئات في المحلول.

3- هناك قوى تتأفر لحظية بين ذرات الهيدروجين المحملة بشحنة جزئية موجبة تساهم في التباعد أثناء دوران الجزيئات في المحلول.

التوصيات:

لفت النظر لإمكانية الاستفادة من خصائص الماء وسهولة تبخيره في ابتكار الآلات صناعية على نطاق محلي، كما هو موجود عالمياً، لا سيما وأنه مصدر متوفر محلي قليل الكلفة إذ من الصعب قطع المطر أو إغلاق الينابيع. -
نوصي أثناء الحسابات تعويض كافة الأرقام بالفواصل وإن كانت الفروق غير معنوية لزيادة الدقة، مع ملاحظة تغيراتها حسب درجة الحرارة، مثل الكثافة التي تتغير بتغير درجة الحرارة.

References:

1. Albany Nabil *General and Analytical Chemistry (I)* Faculty of Agriculture First Year, Tishreen university, Lattakia Syria 2008
2. AL-DOIARI A., AKFALY S. *Practical Physics* Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria 2010, 261, p 88 – 94
3. MOSTAFA, SHAHEED; HASAN, HASSAN *Organic Chemistry* First Year Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria 1994, p 13
4. Maarouf Mohammad *General and Analytical Chemistry (II)* Faculty of Agriculture First Year, Tishreen university, Lattakia Syria 2008
5. NAAL H., TOMA M., GHREWATY A. *An Extraction and Study of Some Natural Products in Artichoke and Silybum Marianum and Definition Its Effects on Some Living Tissues* Chemistry Department, Faculty of Science, Aleppo University, Aleppo, Syria, 2006, 150, p 34- 35
6. Naal Hosam *Measuring Olive Oil viscosity Using two methods stokes and poiseuille* Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (44) No. (2) 2022, Lattakia Syria p 31-44
7. BAILEY A. E.1993, *BAILEY'S Industrial Oil and Fat Products*, 5th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, Vol.: 1& 2 & 4.
8. David R. Lide, ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.
9. Haynes, W.M. (ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 91st ed. Boca Raton, FL : CRC Press Inc., 2010-2011, p. 3-282
10. Haynes, W.M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 94th Edition. CRC Press LLC, Boca Raton: FL 2013-2014, p. 3-290
11. IUPAC Commission on Isotopic Abundances and Atomic weights) *ATOMIC WEIGHTS OF THE ELEMENTS*. Pure Appl. Chem. 2021, 93(1), 155-166
12. Shafiee, Saiful Afrifin; Aarons, Jolyon; Hamzah, Hairol Hisham "*Electroreduction of Peroxodisulphate : A Review of A Complicated Reaction*" 2018 Journal of The Electrochemical Society. ESC. 165(13): H785-H798.
13. O'Neil, M.J. (ed.). *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 2013., p. 1868
14. Van der Leeden et al; *The Water Encyclopedia*. 2nd ed., Geraghty & Miller Ground-Water Series., Chelsea MI: Lewis Pub pp. 808 (1990)