جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربيه العلوم الصرفه

قسم الفيزياء

دراسه نضريه عن تأثير الخواص الحراريه في حساب الانثالبي والانتروبي لغاز الاوكسجين

بحث تقدم به الطالب

حيدر طاهر حميد

الى قسم الفيزياء – كلية التربية العلوم الصرفه- جامعه بابل وهو جزء من متطلبات نيل شهاده البكالوريوس في الفيزياء

باشراف

ا. م . د . انعام هاني كاظم

2024 – 2023

بسم الله الرحمن الرحيم

"قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لا يَعْلَمُونَ"

صدق الله العلي العظيم

سورة الزمر– اية ٩

شكر وتقدير

الحمـدلله رب العـالمين ،تبـارك وتعـالى لـه الكمـال وحـده والصـلاه والسـلام على سيدنا محمد نبيه ورسوله الامين وعلى سائر الانبياء المرسلين.

احمـد الله تعـالى الـذي بـارك لـي فـي اتمـام بحثـي هـذا واتقـدم بجزيـل الشـكر وخـالص الامتنـان الـى كـل اسـاتذتي الافاضـل ، الـذي كـان لهـم الفضـل فـي سـلوكي هـذا الـدرب واخـص بالـذكر الاسـتاذ المشـرف (ا.م.د. انعـام هـاني كاظم) الذي كان لي داعماً .

الى كل من اهد لي يد العون لانجاز بحثي هذا.

الاهداء

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها ان تكون لم يكن الحلم قريباً ولا الطريق كان محفوفاً بالتسهيلات لكني فعلتها.

أهدي تخرجي

إلى ذلك الرجل الذي احمل اسمه بكل فخر والذي اخرج أجمل مافي داخلي وشجعني دائماً للوصول إلى طموحاتي ، رجل علمني الحياة بأجمل شكل وبذل كل ما بوسعه ولم يتخل (والدي)

ادامك الله ظلاً لنا إلى اليد الحنينه التي ازالت عن طريقي الاشواك وصنعت مني انسان طموح ويعشق التحديات لمن رضاها يخلق لي التوفيق (والدتي)

أطال الله في عمرك والى نفسي التي قالت أنا لها،

"سأنالها"

وأنا لها وإن ابت رغما عنها اتي بها. واخيراً ها انا اليوم اقف على عتبة تخرجي اقطف ثمار تعبي وارفع قبعتي بكل فخر وانتجت المسيرة الجامعية بخيرها وشرها وحلوها ومرها، فرحة مختلطة بين فرحة التخرج وحزن الوداع فاللهم لك الحمد قبل ان ترضى ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا.

وتحقق ما كان بالامس حلماً

المحتويات

الفصل الاول.....2

1العلاقة بين الطاقة الداخلية ودرجة الحرارة : 4

1 درجة الحرارة.....5

تطبيقات تكنولجية تعتمد على الحراره 11

الفصل الثاني.....13

الجزء النظري 13

الفصل الثالث.....19

النتائج والحسابات.....19

الفصل الرابع.....22

المناقشة والاستنتاجات 22

المصادر 25

الخلاصة 24

الخلاصة

يهدف البحث إلى اظهار الاستيعاب الفيزياوي لظاهرة حساب الانثالبي والانتروبي لغاز الأوكسجين ومدى تأثير درجة الحرارة عليه . ثم تبين لنا إن الانتالبي يزداد مع زيادة درجة الحرارة والسبب في ذلك يعود الى زيادة في الطاقة الداخلية نتيجة زيادة درجة الحرارة وبالتالي زيادة الانثالبي لأن قيمة الانثالبي تعتمد على الطاقة الداخلية. وكذلك نتيجة زيادة درجة الحرارة هذا يؤدي الى تمدد غاز الأوكسجين حيث تتمدد الغازات كثيرا بزيادة درجة الحرارة لانه بزيادة درجة الحرارة ستكتسب جزيئات هذا الغاز طاقة أضافية هي الطاقة الحرارية وبالتالي زيادة الانثالبي. كذلك من العوامل التي تؤدي الى زيادة الطاقة الداخلية هي زيادة المسافة الفاصلة بين جسيمات ذرات أو جزيئات (الكيان الذي يصاحب التمدد) ان هذا التمدد يتم ضد قوى التجاذب المتبادل بين جسيمات الكيان وبالتالي زيادة الانثالبي ايضا لاحظنا نقصان الانتروبي مع زيادة درجة الحرارة لان العلاقة عكسية بين الانتروبي ودرجة الحرارة.

الفصل الاول

1. 1 المقدمة Introduction

تتكون كل الأشياء من ذرات أو جزيئات في حالة حركة دائمة. وتكسب هذه الحركة الأجسام طاقة داخلية. ويعتمد مقدار الطاقة الداخلية للجسم على مدى سرعة تحرك ذراته أو جزيئاته. فإذا تحركت ببطء فإن مقدار طاقة الجسم الداخلية يكون منخفضا. أما إذا كانت تتحرك بشدة فإن الجسم يكون له مقدار طاقة داخلية مرتفع. وللأجسام الساخنة مقدار طاقة داخلية أعلى مما للأجسام الباردة. والطاقة الداخلية : تشمل طاقة الحركة للانتقال العشوائي والدوراني والاهتزازي الحركة الجزيئات وطاقة الوضع الاهتزازية المصاحبة للقوى بين الجزيئات . اما الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة. ولا يمكن رؤية الحرارة أو الطاقة ولكن يمكن رؤية الأثر الذي يحدثانه . الحرارة Heat : هي الطاقة الحرارية المنتقلة بين الأجسام نتيجة للاختلاف في درجة حرارتها. ودرجة الحرارة : هي مقياس المتوسط طاقة حركة جزيئات المادة واما الاتزان الحراري: الحالة التي يكون فيها للجسمين المتلاصقين فيزيائياً درجة الحرارة نفسها . أن درجة الحرارة وكمية الحرارة شيئان مختلفان وليسا شيئًا واحدا[1].

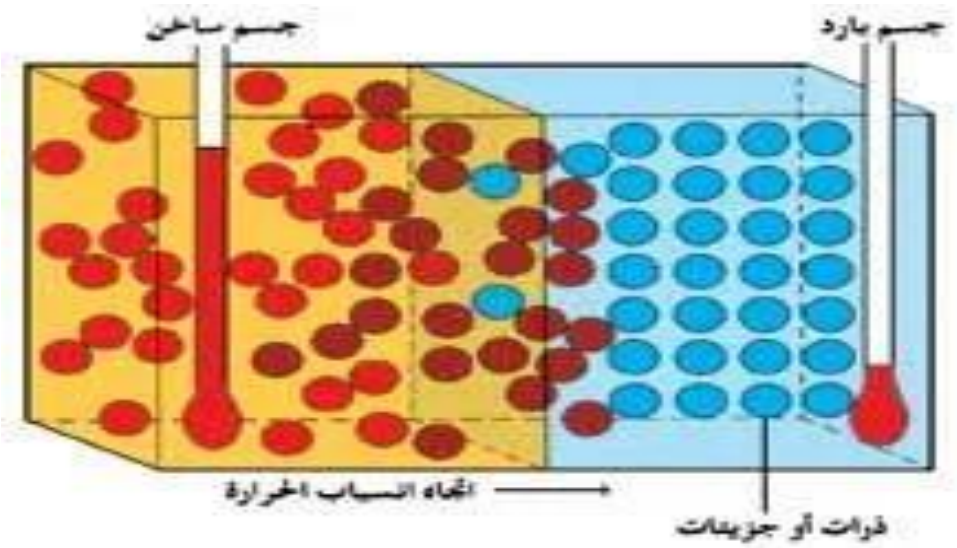
درجة حرارة الجسم هي دليل على مقدار طاقته الداخلية (الحركية) بينما كمية الحرارة هي الطاقة المنتقلة من جسم لآخر. تهتز جزيئات المادة حول مواضع اتزانها الأصلية (الجوامد بتردد معين وسعة اهتزازة معينة وبالتالي يكون لجزيئاتها طاقة وضع وطاقة حركة الطاقة الداخلية لجسم هي مجموع طاقتي الوضع والحركة لجزيئات مادة الجسم الخواص الحرارية هي خصائص تحدد سلوك المادة عند تغير درجة الحرارة والضغط تشمل السعة الحرارية كمية الطاقة الحرارية المطلوبة لرفع درجة حرارة 1 جرام من المادة بمقدار 1 درجة مئوية الضغط القوة التي يمارسها السائل أو الغاز على سطح ما الحجم المساحة التي تشغلها المادة درجة الحرارة مقياس لدرجة سخونة أو برودة المادة الانثالبي هو كمية الطاقة الحرارية التي تكتسبها أو تفقدها المادة في عملية كيميائية أو فيزيائية الانتروبي هو مقياس لعشوائية نظام ما كلما زادت عشوائية النظام، زاد انتروبي تؤثر الخواص الحرارية بشكل كبير على حساب الانثالبي والانتروبي على سبيل المثال، تؤدي زيادة السعة الحرارية إلى زيادة كمية الطاقة الحرارية المطلوبة لرفع درجة حرارة المادة تؤدي زيادة الضغط إلى زيادة كثافة المادة، مما قد يؤثر على حساب الانثالبي والانتروبي تؤدي زيادة الحجم إلى زيادة عدد الحالات الممكنة للنظام، مما يؤدي إلى زيادة الانتروبي يمكن استخدام فهم تأثير الخواص الحرارية على حساب الانثالبي والانتروبي في العديد من التطبيقات، مثل تصميم محركات الاحتراق الداخلي تصميم أنظمة التبريد والتدفئة تطوير مواد جديدة فهم العمليات الكيميائية والفيزيائية يمكن استخدام الخواص الحرارية لحساب كمية الطاقة الحرارية المطلوبة لتسخين غاز الأكسجين من 20 درجة مئوية إلى 100 درجة مئوية يمكن استخدام الخواص الحرارية لحساب كمية الطاقة الحرارية التي يطلقها غاز الأكسجين عند تفاعله مع الهيدروجين لتكوين الماء يمكن استخدام الخواص الحرارية لحساب التغير في الانتروبي عند ذوبان غاز الأكسجين السائل[2].

1العلاقة بين الطاقة الداخلية ودرجة الحرارة :

بإكساب الجسم طاقة حرارية تزداد سعة اهتزازة الجزيئات وتتباعد وبالتالي تزداد سرعة الجزيئات وتزداد طاقتها الحركية فتزداد الطاقة الداخلية للمادة ، وترتفع درجة الحرارة للجسم. والعكس صحيح إذا فقد الجسم طاقة حرارية إذا درجة الحرارة تعتبر مقياسا للطاقة الداخلية لجزيئات الجسم[3].

2. 1 الاتزان الحراري الحرارة تنساب من جسم ذي درجة حرارة أعلى إلى آخر ذي درجة حرارة أقل. وكلما كان الفرق في درجة الحرارة بين جسمين أكبر، كان انتقال عندما تتلامس أجسام لها درجات حرارة مختلفة ، يحدث انتقال للطاقة الحرارية من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة حتى يصبح الاثنان عند درجة الحرارة نفسها [4].

كمية الحرارة المكتسبة + كمية الحرارة المفقودة = صفر



شكل (1-1) الاتزان الحراري[3]

عندما تتلامس أجسام لها درجات حرارة مختلفة ، يحدث انتقال للطاقة الحرارية من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة حتى يصبح الاثنان عند درجة الحرارة نفسها .

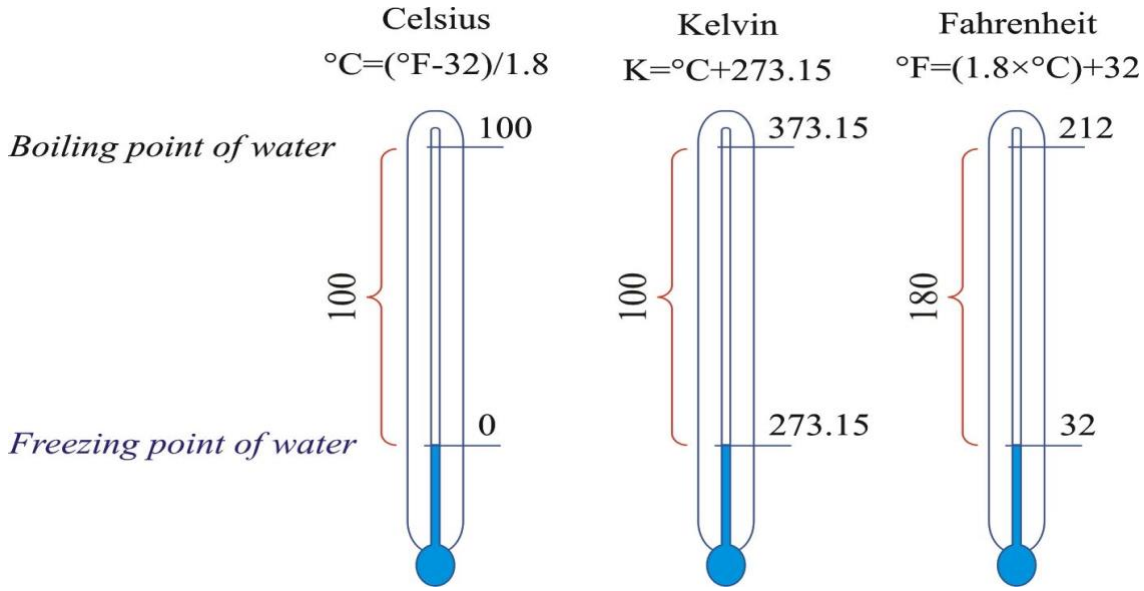
كمية الحرارة المكتسبة + كمية الحرارة المفقودة = صفر

فعندما يتلامس جسمان لهما درجة الحرارة نفسها لا تتغير الطاقة الحرارية لكل منهما . حتى إذا كان لأحد الجسمين طاقة حرارية أكبر من الطاقة الحرارية التي للجسم الآخر ، فإن الجسمين يظلان على درجة الحرارة نفسها . مقاييس درجة الحرارة الكلفن (K) وهو المقياس المعتمد من قبل المنظومة العالمية وهو مقياس كثير الاستعمال في الميادين العلمية . السيليزي (درجة حرارة مئوية وهي المقياس المعتمد في حياتنا اليومية في غالبية دول العالم) الفهرنهيت : وهو

المقياس المعتمد في الولايات المتحدة الأمريكية. درجة الحرارة المطلقة وهي كلفن. بما أن الحرارة مظهر من مظاهر الطاقة المتبادلة . إذا أمكننا تحويل جميع وحدات الحرارة المختلفة إلى جول . وهي وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي [5].

1 درجة الحرارة

فكرة الاتزان الحراري هي الأساس في قياس درجة الحرارة



وجه المقارنة	الفهرنهايت	السيلزي	كلفن
درجه غليان الماء	312	100	373
درجه حرارة جسم الإنسان	98.6	37	310
درجه تجمد او انصهار الماء	32	0	273

درجه الصفر المطلق	-460	-273	0

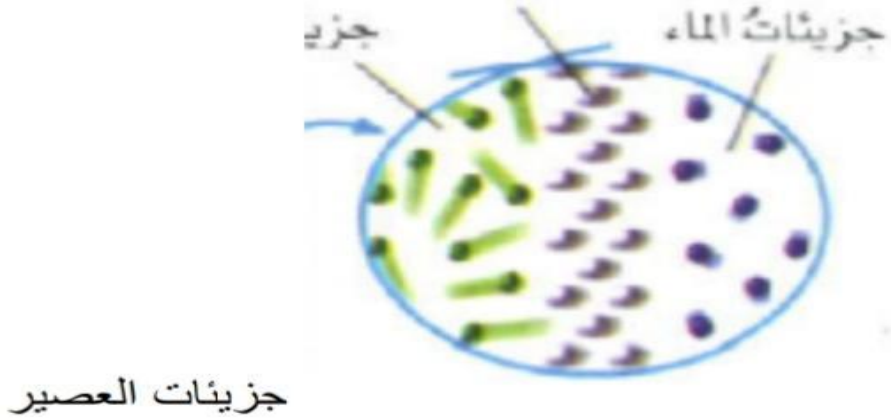
شكل (2-1) مقاييس درجه الحرارة [5]

جدول (1-1) وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي

بما أن الحرارة مظهر من مظاهر الطاقة المتبادلة . إذا أمكننا تحويل جميع وحدات الحرارة المختلفة إلى جول . وهي وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي .

1. 5 انتقال الطاقة كحرارة

وفق وجهة النظر العيانية تنتقل الطاقة كحرارة من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى حرارة . تفسير ذلك وفق النظرة المجهرية (على مستوى الذري)



شكل (1-3) النظرة المجهرية(على مستوى الذري)[5]

عند الوصول إلى حالة الاتزان الحراري تكون الطاقة الكلية المتبادلة بين الجسمين صفراً أي مجموع الطاقة المكتسبة والمفقودة يساوي الصفر. للحساء في الاناتين درجة الحرارة نفسها ، في المقلاة حساء أكثر. لذلك يكون في حساء المقلاة طاقة حرارية أكبر من الطاقة الحرارية في حساء الوعاء الآخر . فالطاقة الحرارية تتناسب مع كمية المادة[6].

شكل (1-4) مقلاة ووعاء

أي انه إذا اكتسب جسم طاقة حرارية أو فقدها تتغير درجة حرارته وتتغير طاقته الداخلية والحرارة لا تنتقل بين جسمين إلا إذا كان بينهما فرق في درجات الحرارة . يرمز للطاقة الداخلية بالرمز U وإلى الحرارة بالرمز Q (الطاقة الداخلية) مجموع طاقة الحركة وطاقة الوضع لجزيئات المادة [6].

أكثر ثلاث وحدات شيوعًا في قياس كمية الحرارة هي :: السعرة الحرارية والجول والوحدة الحرارية البريطانية. والسعر الحراري هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة سيليزية واحدة. والسعر الحراري المستخدم في قياس الطاقة الحرارية الناتجة من الأطعمة، يساوي 1000 ضعف هذا السعر الحراري الذي عرفناه [3] . والوحدة الحرارية البريطانية : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة فهرنهيتية واحدة ، وتُستخدم غالبا في الهندسة بينما يستخدم السعر الحراري في العلوم [2] . أما الجول فيمكن أن يُستخدم في قياس كل أنواع الطاقة، بما في ذلك الحرارة والجول الواحد هو كمية الطاقة المستهلكة – أو الشغل المبذول – عندما تحرك قوة مقدارها نيوتن واحد جسما مسافة متر واحد في اتجاهها[4]

1.6السعة الحرارية النوعية [3]

وجد بالتجربة العملية أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة تختلف حسب طبيعة المادة، كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1kg من الماء درجة سيليزية واحدة تساوي 41860 ولرفع درجة حرارة 1 kg من النحاس درجة سيليزية واحدة يلزم 3871

السعة الحرارية النوعية : بأنها كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة 1kg من المادة درجة سيليزية واحدة عند ضغط ثابت cp وتختلف السعة الحرارية النوعية

بـاختلاف نـوع المـادة والسـبب هـو اخـتلاف حركـة الـذرات والجزيئـات علـى المسـتوى المجهري لكل منها .

التغير في درجة الحرارة Tf

Q=CpmAT

Cp = Q MAT

$$C_P = (\frac{\partial H}{\partial T})_P \qquad (1\text{-}1)$$

حيث ان Cp يرمز الى السعة الحرارية النوعية مقاسة عند ضغط ثابت .

والسعة الحرارية عند حجم ثابت C_V، حيث تتمدد الغازات كثيرا بالحرارة :

$$C_v = (\frac{\partial U}{\partial T})_v \qquad (1\text{-}2)$$

من هذه المعادلة يتضح أنه عندما تكتسب المادة حرارة فـإن التغيـر فـي درجـة الحـرارة يكـون بالموجب وتكون كمية الحرارة موجباً.

$$T_f < T_i \qquad \Delta T = T_{f-T_i} \qquad (1-3)$$

وعندما تفقد المادة حرارة فإن التغير في درجة الحـرارة يكـون بالسـالب وتكـون كميـة الحـرارة سالبة.

$$T_f < T_i \qquad \Delta T = T_{f-T_i} \qquad (1-4)$$

تحديد السعة الحرارية النوعي

قياس الحرارة (الكلوريمترية) طريقة مختبرية تستخدم لقياس الطاقة المتبادلة بين جسم وآخر على شكل حرارة مسعر حراري بسيط يستخدم في قياس السعة الحرارية النوعية للمادة

كمية الحرارة المكتسبة + كمية الحرارة المفقودة = صفر

$$Q_1 + Q_{2=}O \qquad (1-5)$$

شكل (1-4) قياس الحراره الكلوريمترية[4]

1.7 طرق انتقال الحراره

1- **بالتوصيل (في المواد الصلبة)** :انتقال الحرارة بالتوصيل هو عملية نقل الطاقة الحرارية من خلال اهتزاز الذرات أو الجزيئات داخل الجسم أو بين جسمين متلامسين آلية عملها اهتزاز الذرات عندما ترتفع درجة حرارة جسم ما، تبدأ ذراته بالاهتزاز بشكل أسرع انتقال الطاقة عندما تتصادم ذرة مهتزة مع ذرة مجاورة[4] تنتقل الطاقة الحرارية من ذرة إلى أخرى انتقال الحرارة عبر الجسم تستمر هذه العملية حتى تنتشر الحرارة في جميع أنحاء الجسم العوامل المؤثرة على انتقال الحرارة بالتوصيل المواد تختلف قدرة المواد على توصيل الحرارة تُعرف هذه القدرة باسم "الموصلية الحرارية" بعض المواد، مثل المعادن، موصلات جيدة للحرارة، بينما تُعد المواد الأخرى، مثل البلاستيك والخشب، موصلات سيئة للحرارة المساحة تزداد كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل مع زيادة مساحة السطح المتلامس بين الجسمين الطول تقل كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل مع زيادة طول الجسم فرق درجات الحرارة تزداد كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل مع زيادة فرق درجات الحرارة بين الجسمين أمثلة على انتقال الحرارة بالتوصيل طهي الطعام عند وضع مقلاة على موقد، تنتقل الحرارة من الموقد إلى المقلاة

بالتوصيل كي الملابس عند استخدام مكواة، تنتقل الحرارة من المكواة إلى الملابس بالتوصيل الشعور بالبرد عند لمس المعدن عندما نلمس المعدن في فصل الشتاء(5)، تنتقل الحرارة من أجسامنا إلى المعدن بالتوصيل تطبيقات انتقال الحرارة بالتوصيل التدفئة تُستخدم الموصلات الحرارية الجيدة، مثل النحاس والألومنيوم، في أنظمة التدفئة لنقل الحرارة من مصدر الحرارة إلى الغرفة التبريد تُستخدم الموصلات الحرارية السيئة، مثل البلاستيك والخشب، في أنظمة التبريد لمنع انتقال الحرارة من البيئة الخارجية إلى داخل الثلاجة أو المجمد صناعة الإلكترونيات تُستخدم الموصلات الحرارية الجيدة في صناعة الإلكترونيات لنقل الحرارة من المكونات الإلكترونية إلى المشتت الحراري ،يُعد انتقال الحرارة بالتوصيل أكثر كفاءة من طرق انتقال الحرارة الأخرى، مثل الحمل والإشعاع يمكن تقليل انتقال الحرارة بالتوصيل باستخدام المواد العازلة، مثل الصوف الزجاجي أو الفلين [4].

2- **بالحمل (في السوائل والغازات):** انتقال الحرارة بالحمل هو عملية نقل الطاقة الحرارية من خلال حركة الموائع (السوائل والغازات) آلية عملها تسخين المائع عندما يتم جزء من المائع، ترتفع درجة حرارة جزيئاته انخفاض الكثافة تتسبب زيادة الطاقة الحرارية في انخفاض كثافة جزيئات المائع الحركة التصاعدية يرتفع المائع الساخن (ذو الكثافة المنخفضة) إلى أعلى، بينما ينزل المائع البارد (ذو الكثافة العالية) إلى أسفل انتقال الطاقة أثناء حركة المائع، تنتقل الطاقة الحرارية من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة أنواع الحمل الحراري الحمل الحراري الطبيعي يحدث هذا النوع من الحمل الحراري بشكل طبيعي بسبب اختلافات درجات الحرارة في المائع الحمل الحراري القسري يتم استخدام مضخة أو مروحة لزيادة سرعة حركة المائع، مما يزيد من معدل انتقال الحرارة العوامل المؤثرة على انتقال الحرارة بالحمل خصائص المائع تؤثر خصائص المائع، مثل اللزوجة والكثافة، على معدل انتقال الحرارة سرعة تدفق المائع كلما زادت سرعة تدفق المائع، زاد معدل انتقال الحرارة فرق درجات الحرارة كلما زاد فرق درجات الحرارة بين المناطق الساخنة والباردة، زاد معدل انتقال الحرارة مساحة السطح كلما زادت مساحة سطح التلامس بين المائع والسطح، زاد معدل انتقال الحرارة(8) أمثلة على انتقال الحرارة بالحمل غليان الماء عندما يغلي الماء، ترتفع فقاعات الماء الساخنة إلى أعلى، بينما تنزل فقاعات الماء الباردة إلى أسفل تدفئة المنازل يتم استخدام أنظمة التدفئة المركزية لنقل الماء الساخن عبر أنابيب، مما ينقل الحرارة إلى غرف المنزل تبريد السيارات يتم استخدام مبرد السيارة لنقل الماء الساخن من المحرك إلى المبرد، حيث يتم تبريده بواسطة الهواء(9) تطبيقات انتقال الحرارة بالحمل التدفئة والتبريد تُستخدم أنظمة التدفئة والتبريد لنقل الحرارة من وإلى المباني التصنيع يُستخدم الحمل الحراري في العديد من العمليات الصناعية، مثل تصنيع المواد الغذائية والكيماويات الطاقة المتجددة تُستخدم أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية وطاقة الرياح لتحويل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إلى طاقة حرارية[5].

3- **بالاشعاع(في الغازات والفراغ)** : انتقال الحرارة بالإشعاع هو عملية نقل الطاقة الحرارية عبر الموجات الكهرومغناطيسية دون الحاجة إلى وسط مادي آلية عملها امتصاص الطاقة تمتص ذرات الجسم طاقة من مصدر الحرارة، مما يرفع من مستوى طاقتها انبعاث الطاقة تُصدر ذرات الجسم طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية انتقال الطاقة تسافر هذه الموجات

عبر الفراغ أو أي وسط شفاف وتُمتص من قبل جسم آخر [6]خصائص الإشعاع الحراري يحدث في الفراغ على عكس التوصيل والحمل، يمكن أن يحدث الإشعاع الحراري في الفراغ دون الحاجة إلى وسط مادي يسير في خطوط مستقيمة تسير أشعة الإشعاع الحراري في خطوط مستقيمة حتى تصطدم بجسم آخر يعتمد على فرق درجات الحرارة كلما زاد فرق درجات الحرارة بين الجسمين، زادت كمية الطاقة المنبعثة والممتصة يعتمد على خصائص السطح تؤثر خصائص سطح الجسم، مثل لونه وخشونته، على كمية الطاقة المنبعثة والممتصة أنواع الإشعاع الحراري إشعاع الجسم الأسود هو الإشعاع المثالي الذي ينبعث من جسم يمتص جميع الإشعاع الساقط عليه [5] إشعاع الجسم الرمادي هو الإشعاع الذي ينبعث من جسم يمتص بعض الإشعاع الساقط عليه ويعكس البعض الآخر قوانين الإشعاع الحراري قانون ستيفان-بولتزمان ينص هذا القانون على أن كمية الطاقة المنبعثة من جسم ما تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقه قانون فين ينص هذا القانون على أن طول الموجة التي عندها يكون الإشعاع الحراري بأقصى قدر تتناسب عكسياً مع درجة حرارة الجسم المطلقة قانون لامبرت ينص هذا القانون على أن كمية الطاقة المنبعثة من جسم ما تتناسب مع جيب تمام زاوية الانبعاث تطبيقات الإشعاع الحراري التدفئة والتبريد تُستخدم أنظمة التدفئة والتبريد الشمسية لنقل الطاقة الحرارية من الشمس إلى المباني الطاقة الشمسية تُستخدم الألواح الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية [6]الطبخ تُستخدم أفران الميكروويف لتسخين الطعام عن طريق الإشعاع الحراري التصنيع تُستخدم تقنيات الإشعاع الحراري في العديد من العمليات الصناعية، مثل تجفيف المواد وطباعة الملابس[7].

تطبيقات تكنولجية تعتمد على الحراره

1. الثلاجة
1. المدفاة
2. السخان
3. الموقد
4. الافران
5. المكيف

عندما يكون لدينا عدد كبير من الجسيمات في نظام مغلق مثل غاز في قارورة (ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن التغير التفاضلي للطاقة الداخلية للنظام تكون مساوية لتغير في الحرارة المعطاة للنظام ناقصا منها كمية الشغل W6 المؤدى من النظام حسب العلاقة[7]:-

$$(first\ law)\ \ dU = \delta Q - \delta W \qquad (1-6)$$

ويمكن تفسير ذلك بأن تقدم جزء للطاقة الداخلية في النظام وجزء للشغل الذي يؤديه النظام، بمعنى آخر عندما نعطى النظام جزءا من الحرارة يحتفظ النظام بجزء منها ويؤدي الجزء الآخر كشغل ميكانيكي[7].

$$\delta Q = dU + \delta W \qquad (1-7)$$

وتسمى الطاقة الداخلية بأنها دالة حالة . وفي عملية دورية مثل تشغيل آلة بخارية تعود دالات الحالة إلى قيمها الأولى بعد إتمام دورة كاملة. أي أن التغير التفاضلي للطاقة الداخلية هو تغير تفاضلي تام وترمز إلى التفاضل التام بالرمز d[8].

وبالمقارنة فإن كلا من Q أو W لا تمثلان حالة للنظام . أي أن التغير في الحرارة وفي الشغل لا تعتبر تفاضل تام، وترمز لهما δQ وδW. وتستخدم الرمز δ (delta) كرمز لتغير غير تفاضلي تام .

يوصف تكامل التفاضل الغير التام مع الزمن لنظام عند مغادرة نظام لحالته ثم العودة إلى نفس الحالة الترموديناميكية بأنها لا تكون مساوية بالصفر. ولكن عندما نعطي حرارة النظام حيث يؤدي عملية غير عكسية عند درجة حرارة معينة T، فإن الحرارة δQ ودرجة الحرارة T تشكلان تفاضلا كاملا[8].

الفصل الثاني

الجزء النظري

2 . 1 الحرارة

الحرارة في الفيزياء و الكيمياء (بالإنجليزية: heat) هي إحدى أشكال الطاقة والتي يترافق معها حركة الذرات أو الجزيئات أو أي جسيم يدخل في تركيب المادة. بالإمكان الحصول على الحرارة عن طريق التفاعلات الكيماوية مثل الاحتراق، أو التفاعلات النووية كالاندماج النووي الذي يحدث في الشمس أو الإشعاع الكهرومغناطيسي كما يحدث في المواقد الكهرومغناطيسية (ميكروويف) أو الميكانيكي الحركي) مثل الآلات والاحتكاك يمكن للحرارة أن تتنقل بين الأجسام عن طريق الإشعاع أو التوصيل حراري أو الحمل الحراري لا يمكن للحرارة أن تنتقل بين جسمين أو بين نقطتين في جسم واحد إلا أن كانت درجات الحرارة بينهما مختلفة درجة الحرارة هي مقياس لمدى سخونة جسم ما أو برودته تسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم ما درجة مئوية واحدة بالسعة الحرارية. السعة الحرارية لكل مادة محددة ومعروفة. الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة من مادة ما درجة واحدة تسمى بالحرارة النوعية وهي تعتمد على حالة المادة وتركيبها الكيماوي[9].

عند احتراق الوقود تصدر كمية من الحرارة تعرف باسم القيمة الحرارية للوقود. خلال عملية تحول مادة نقية من حالة إلى أخرى يتم فقد حرارة أو اكتسابها دون أي تغير في درجات الحرارة وتعرف كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة إبان عملية التحول باسم الحرارة الكامنة وتعتمد بشكل مباشر على نوعية المادة وحالتها الابتدائية والنهائية[9].

يمكن قياس كمية الحرارة المنتقلة خلال عملية ما عمليا أو حسابها معتمدين على بعض الخواص الحرارية للمواد . يتم قياس كمية الحرارة – ورمزها عادة Q ونقيس التغير في كمية الحرارة الجسم عن طريق تغير في درجة حرارته أو تغير في طوله أو حجمه أو تعير في طوره مثلما عند انصهار الثلج[10] .

ويعتمد طرق تعيين كمية الحرارة الغير مباشرة على قانون بقاء الطاقة ، وفي بعض الأحيان تعتمد على القانون الأول للديناميكا الحرارية .

2 . 2 غاز الأوكسجين

الأوكسجين هو أحد أهم العناصر الكيميائية الموجودة في الجدول الدوري وله الرمز والعدد الذري .. هذا العنصر شائع للغاية، ولا يوجد فقط على الأرض ولكن في كل الكون، ويكون غالبا مرتبطا مع عناصر أخرى[10].

وجد الأكسجين غير المرتبط وغالبا ما يطلق عليه الأوكسجين الجزيئي (17) في أول الأمر على سطح الأرض كناتج لعمليات التأيض للبكتريا ثم وجد الأكسجين الحر في الغلاف الجوي بعد ذلك في العصر الجيولوجي وحتى الآن تنتجه النبات بوفرة بعمليات التركيب الضوئي ويشكل الأوكسجين ثنائي الذرة ٢٠,٨% من العناصر الموجودة في الهواء الأوكسجين هو ثاني أكبر مكون للغلاف الجوي (٢٠,٩٤٧ % بالحجم) ويدخل في طبقة الأوزون وله خواص كثيرة فهو في الهواء ويوجد في كل مكان يتنقل بسهولة كبيرة فهو غاز ويوجد أيضا ماء الأكسجين لاوكسجين مركب أساسي للهواء، يتكون من النباتات خلال عمليات البناء الضوئي، وهو مهم

للتنفس في الكائنات الحية التي تعتمد على الهواء في تنفسها. يتم استخدام الأكسجين بكثرة كمادة مؤكسده، ويتم استخدام الأكسجين السائل كمادة مؤكسدة في دفع الصواريخ. كما أن الأوكسجين أساسي في عمليات التنفس، ولذا فإن له دور أساسي في الطب. كما أن متسلقى الجبال ومن يقومون باستخدام الطائرات يكون لديهم إمدادات إضافية من الأكسجين. ويستخدم الأكسجين أيضا في اللحام[11].

الجدول (1-2) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية لغاز الأوكسجين [11]

الاسم، العدد الذري، الرمز	**أكسجين، 5,8**
تصنيف العنصر	**لا فلز**
المجموعة، الدورة المستوى الفرعي	**p. 2416**
الكتلة الذرية	**15.9994 غ مول**
توزيع الكتروني	**s^2 $2s^2$ 2p1**
الطور	**غاز**
حرارة التبخر	**6.82 كيلوجول مول**
البنية البلورية	**نظام بلوري مكعب**
نقطة الغليان	**C ،182.95 190.20** **F ،297.31**

2. 4 اعتماد السعة الحرارية على درجة الحرارة.

في الواقع انه من غير الممكن تخمين القيم العددية للسعات الحرارية اعتماداً على الدينمية الحرارية الا انه في بعض الحالات وبالاعتماد على الميكانيك الاحصائي (Statistical Mechanics) يكون من الممكن حساب السعات الحرارية لبعض المواد من المعلومات الطيفية ونتائج هذه الطريقة تكون جيدة بالنسبة للجزيئات الغازية البسيطة، الا ان الطريقة المباشرة للحصول على السعات الحرارية هي بواسطة القياسات المسعرية وهي الطريقة المستخدمة لتعيين معظم السعات الحرارية. في الحقيقة ان السعات الحرارية، خصوصاً بالنسبة

للجزيئات الغازية المعقدة (المتعددة الذرات) تتغير مع درجة الحرارة ولهذا فأن هناك معادلات وضعية (Emperical) (Equations لربط السعات الحرارية المقاسة هذه الغازات على مدى معين من درجات الحرارة[11]، ومن هذه المعادلات الوضعية المعادلة التالية

$$C_{p=a+bT+CT^2} \qquad (2-1)$$

لحساب ΔH المادة من قيم السعة الحرارية تحت ضغط ثابت وعلى مدى من درجات الحرارة وبتكامل المعادلة اعلاه نحصل على:

$$\int_{H1}^{H2} dH = \int_{T1}^{T2} Cp\ dT \qquad (2-2)$$

وعند التعويض عن السعة الحرارية تحت ضغط ثابت في المعادلة اعلاه واجراء التكامل تحصل على

$$\Delta H = H_{2-} H_{1} = a(T_{2-}T_{1}) + \frac{b}{2}(T_1^2 - T_1^2) + \frac{C}{3}(T_2^3 - T_1^3)$$

...(2-3)

في الديناميكا الحرارية والكيمياء الجزيئية، المحتوى الحراري أو الإنتالبية أو السخانة يرمز لها ب (هي تعبير عن الكمون الدينامي الحراري للنظام هي مقياس للطاقة الكلية ل نظام ترموديناميكي. ومن ضمنها الطاقة الداخلية التي هي الطاقة اللازمة لإنشاء نظام ، بالإضافة إلى كمية الطاقة اللازمة لإفساح مكان (حجم) للنظام خلال الوسط المحيط ، وتهيئة النظام للحصول على حجمه وضغطه وحدة الإنثالبي هي وحدة طاقة أي جول[12].

وعند ثبات الضغط تكون AH مساوية للتغير في الطاقة الداخلية AU للنظام بالإضافة إلى كمية الشغل التي يؤديها النظام ويعطيها إلى الوسط المحيط وهذا يعني أنه خلال تفاعل كيميائي يكون التغير في الإنتالبي مساويا لكمية الحرارة التي ينشرها النظام أو كمية الحرارة التي يمتصها النظام في الوسط المحيط وحدة الإنثالبي H وكانت H في الأصل مأخوذة من كلمة heat content بالإنجليزية وحدتها هي جول. في الكيمياء وفي التقنية يلعب الإنتابي المولي دورا أساسيا ويرمز لها ...H (الوحدة : جول / مول) ، كما توجد وحدة لها تستخدم نادرا وتسمى الإنثالبي النوعي specifische Enthalpie وتقاس بوحدة جول / كيلوغرام وهي تعطي الإنثالبية لكيلوغرام واحد من المادة[13].

تفيد حسابات تغير إنثالبية نظام حركة حرارية لمعرفة الشغل الذي يمكن الاستفادة منه من النظام (عند الاحتفاظ بالضغط ثابتا). ذلك لأنه عند ثبات الضغط يتغير الحجم ، وتغير حجم النظام معناه أن النظام يؤدي شغلا ميكانيكيا ويعطيه إلى الوسط المحيط كمية الشغل p. v ، ووحدته الجول[12].

يمكن كذلك حساب الإنثالبي عن طريق pv + U ، ونجمع بين الطاقة الداخلية بالإضافة إلى الشغل اللازم pv لتوسيع مكان (حجم) لنشأة نظام ثرموديناميكي. والتغير في الإنثالبي لنظام هو الحرارة الصادرة من النظام أو الحرارة التي يمتصها النظام من الخارج عند ثبات الضغط. وبالنسبة إلى نظام ترموديناميكي يشكل التغير في الإنثالبي أكبر طاقة يمكن استغلالها من عملية ترموديناميكية يكون خلالها الضغط ثابتا.

والمقدار ΔV هو الشغل اللازم لإزاحة الوسط المحيط بغرض تهيئة مكان يحتله النظام[13].

2.3 العلاقة بين الانثالبي والانتروبي.

تساعد العلاقه بين الانثالبي والانتروبي على فهم سلوك الأنظمة الترموديناميكية تُستخدم في تصميم العمليات الكيميائية والفيزيائية تُستخدم في تقييم كفاءة محركات الاحتراق[14].

الانثالبي هو مقياس للحرارة الكلية لنظام ما، ويُعرف بمعادلة:

$$H = U + PV \qquad (2\text{-}4)$$

حيث:

H: الانثالبي (جول).

U: الطاقة الداخلية (جول).

P: الضغط (باسكال).

V: الحجم (متر مكعب)

والانتروبي هو مقياس لمدى عشوائية نظام ما، ويُعرف بمعادلة:

$$S = k * \ln(W) \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

S: الانتروبي (جول/كلفن).

K: ثابت بولتزمان (جول/كلفن 1.38×10^{-23}).

W: عدد الحالات الممكنة للنظام

ترتبط هاتان الخاصتان الترموديناميكيتان ارتباطًا وثيقًا. ففي العمليات العكوسية، يكون التغير في الانتروبي مرتبطًا بالتغير في الانثالبي بمعادلة :

$$dS=dH/T \qquad (2\text{-}6)$$

حيث:

dS: التغير في الانتروبي (جول/كلفن).

dH: التغير في الانثالبي (جول).

T: درجة الحرارة (كلفن).

- **في العمليات العكوسية: تتغير كل من H و S بنفس النسبة ولا يتم فقدان أي طاقة.**
- **في العمليات اللا عكوسية: يزداد S دائمًا. قد يزداد أو ينقص H. ويتم فقدان بعض الطاقة على شكل حرارة.**

2.3.1 أمثلة على العلاقة بين الانثالبي والانتروبي :

- **تذويب الجليد: حيث يزداد H (تمتص الطاقة). كذل يزداد S (تزداد عشوائية جزيئات الماء).**
- **تبخر الماء: يزداد H (تمتص الطاقة) كذلك يزداد S (تزداد عشوائية جزيئات الماء).**

2. 4 الخواص الحرارية لغاز الأكسجين

1. السعة الحرارية
- السعة الحرارية المولية عند الضغط الثابت Cp: 29.124 J/mol K
- السعة الحرارية المولية عند الحجم الثابت Cv: 20.88 J/mol K
2. الحرارة الكامنة:
- حرارة الانصهار: 213.4 kJ/kg
- حرارة التبخر: 510.9 kJ/kg
3. درجات حرارة التحويل الطوري:
- نقطة الغليان (عند ضغط 1 بار): -182.96 C°
- نقطة التجمد (عند ضغط 1 بار): -218.79 C°
4. كثافة الغاز:
- كثافة الغاز عند 0 C° و 1 بار: 1.429 g/L
5. الموصلية الحرارية:
- الموصلية الحرارية عند 0 K° C: 0.0242 W/m
6. الحرارة النوعية:
- الحرارة النوعية عند 0 K° kC: 918 J/kgK
7. طاقة التأين:
- طاقة التأين الأولى: 1313.9 kJ/mol
- طاقة التأين الثانية: 3388.3 kJ/mol

الفصل الثالث

النتائج والحسابات

3.1 المقمة Introduction

من الجدير بالذكر إن هناك العديد من العوامل المختلفة التي لها تأثير واضح على حساب الانثالبي ومن أهم هذه العوامل درجة الحرارة ولذلك تم التركيز على دراسة تأثير درجة الحرارة على حساب الانثالي لغاز الأوكسجين وذلك لأهميته في مجالات الفيزياء العملية المختلفة[15].

البحث الحالي يتضمن حسابات للانثالبي لغاز الأوكسجين ومدى تاثير درجة الحرارة على الانثالبي[16] وقد تم تطبيق المعادلة التالية:

$$C_p = a + bT + CT^2 \qquad (3\text{-}1)$$

الحساب HΔ لمادة من قيم السعة الحرارية تحت ضغط ثابت على مدى من درجات الحرارة تكامل المعادلة اعلاه بحيث.

$$\int_{H1}^{H2} dH = \int_{T1}^{T2} Cp\, dT \qquad (3\text{-}2)$$

3.2 حساب الانثالبي لغاز الاوكسجين

تم حساب الانثالبي لغاز الأوكسجين بالاعتماد على المعادلات السابقة علما ان المقادير المستخدمة في هذه الحسابات هي:

a=29.07

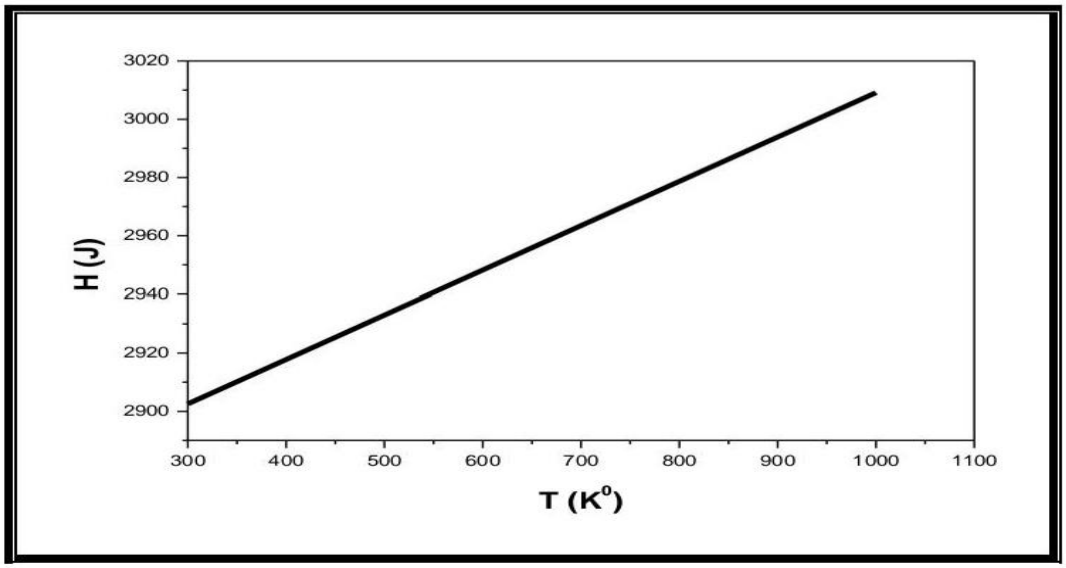
b=0.836 $\times 10^{-3}$

c=20.1$\times 10^{-7}$

الجدول (3-1) يوضح حسابات تغير الانثالبي مع درجة الحرارة (T) [15] والموضحة بيانياً في الشكل (3-1).

الجدول (3-1) يوضح حسابات تغير الانثالبي مع درجة الحرارة (T).

T(K°)	H(J)
400-300	2902.53
500-400	2910.25
600-500	2921.99
700-600	2937.75
800-700	2957.53
900-800	2981.33
1000-900	3009.15



الشكل (3-1) يوضح تغير الانثالبي مع درجة الحرارة[15].

3.3 حساب الانتروبي لغاز الاوكسجين

الأنتروبي كمية ترموديناميكية تعتمد على كمية المادة في النظام وهي دالة لحالة حيث(T) هي درجة حرارة المحيط وان النظام تتمثل بالكمية($\frac{\vartheta Q}{T}$) وان (ΔS) تمثل التغير في الأنتروبي الذي لا يعتمد على المسار[15] وعليه :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\theta Q}{T} \qquad (3\text{-}3)$$

ان وحدات الانتروبي هي $\left(\frac{J}{K^o}\right)$ ، بما إن

$$Q=PdV+dU\vartheta \qquad (3-4)$$

وإذا افترضنا أن الكيان أمتص كمية من الحرارة تحت ضغط ثابت وعليه:

$$\delta Q = \mathrm{PdV} + \mathrm{Du}$$

$$\delta Q = \mathrm{P(dV)} + \mathrm{dU}$$

$$\delta Q = \mathrm{P(dV} + \mathrm{U}$$

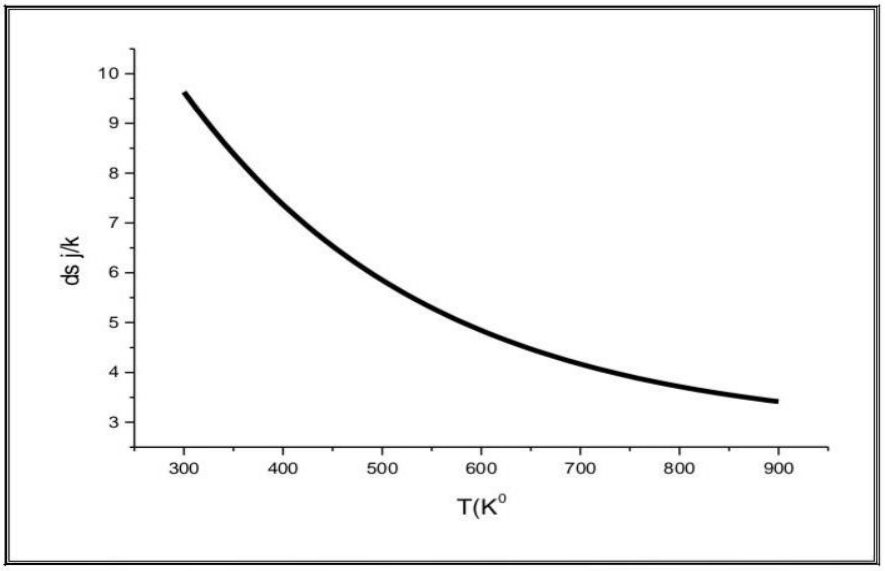
ومن المعادلة اعلاه نحصل على دالة جديدة تدعى بالانثالبي ويرمز لها بالرمز (H) وعليه

$$\delta Q=dH \qquad (3\text{-}5)$$

وبما أن التغير في الأنتروبي $dS = \frac{\delta Q}{T}$ وبالتالي نحصل $dS = \frac{dH}{T}$ والجدول ادناه يوضح قيم الانتروبي لغاز الأوكسجين والمقابلة لدرجات الحرارة المعطاة في[16] .

الجدول (2-3) يوضح حسابات تغير الانتروبي مع درجة الحرارة (T)

T(K^0)	H(J)	Ds=$\frac{dH}{T}\left(\frac{J}{K^0}\right)$
300	2902.53	9.675
400	2910.25	7.275
500	2921.99	5.843
600	2937.75	4.896
700	2957.53	4.225
800	2981.33	3.726
900	3009.15	3.343



الشكل (2-3) يوضح تغير الانتروبي مع درجة الحرارة[16]

المناقشة والاستنتاجات

تُعدّ الخواص الحرارية لغاز الأكسجين من أهمّ العوامل التي تؤثّر على سلوكه وتفاعلاته الكيميائية

هناك العديد من الدراسات النظرية والعملية حول حساب وقياس العوامل المؤثرة في حساب الانثاليي والانتروبي للغازات ومن هذه العوامل درجة الحرارة والتي لها علاقة بالتطبيقات العملية في المجالات الفيزيائية المختلفة.

تضمنت الحسابات حساب الانثالبي والانتروبي لغاز الأوكسجين ومدى تأثير درجة الحرارة على الانتالبي حيث تم تثبيت قيم الانثالبي والانتروبي مع درجات الحرارة المستخدمة في في الجدول (١٢) وبياناً في الشكل (٢-١) . و الجدول (٢-٢) وبياناً في الشكل (٢-٢)

حيث نلاحظ الزيادة في الانتالبي مع زيادة درجة الحرارة ويمكن تفسير ذلك على اعتماد الانثالبي على السعة الحرارية بالإضافة الى الطاقة الداخلية وكذلك مقدار الشغل المنجز على النظام والذي يعتمد على حجم النظام وكذلك الضغط . بالنسبة للمواد الصلبة والسوائل لا تختلف السعة الحرارية عند ضغط ثابت عن تلك المقاسة عند حجم ثابت. أما بالنسبة للغازات فتميز بين السعة الحرارية عند ضغط ثابت والسعة الحرارية عند حجم ثابت ، حيث تتمدد الغازات كثيرا بزيادة درجة الحرارة لأنه بزيادة درجة الحرارة ستكتسب جزيئات هذا الغاز طاقة أضافية هي الطاقة الحرارية وبالتالي زيادة الانثالبي اما بالنسبة للانروبي لاحظنا نقصان الانتروبي عند زيادة درجة الحرارة لان العلاقة هي عكسية بين الانتروبي

تاثير الحرارة النوعية تتحكم الحرارة النوعية لغاز الأكسجين في قدرته على امتصاص أو إطلاق الطاقة الحرارية. تؤثّر هذه الخاصية على قدرة الغاز على تغيير درجة حرارته استجابة للتغيرات في محيطه ، تاثير السعة الحرارية تُقاس السعة الحرارية لغاز الأكسجين بوحدة J/mol·K. تُعطي هذه الخاصية كمية الطاقة الحرارية التي يجب امتصاصها أو إطلاقها لرفع درجة حرارة مول واحد من الغاز بمقدار درجة واحدة كلفن ، تاثير الانثالبي يُعرّف الانثالبي لغاز الأكسجين بأنه محتوى الطاقة الكلية للغاز، بما في ذلك طاقة الحركة وطاقة الوضع. يُستخدم الانثالبي لحساب التغيرات في الطاقة خلال التفاعلات الكيميائية ، تاثير الانتروبي يُعرّف الانتروبي لغاز الأكسجين بأنه مقياس عشوائية الجزيئات أو عدم تنظيمها يُستخدم الانتروبي لتقييم التغيرات في ترتيب الجزيئات خلال التفاعلات الكيميائية.

حساب الانثالبي يمكن حساب الانثالبي لغاز الأكسجين باستخدام معادلة:

$$\Delta H = \Sigma n \Delta H_f$$

حيث:

ΔH: التغير في الانثالبي (J/mol)

N: عدد مولات الغاز

ΔH_f: الانثالبي القياسي للتكوين (J/mol)

الانتروبي: يمكن حساب الانتروبي لغاز الأكسجين باستخدام معادلة:

$$\Delta S = \Sigma n S_m$$

حيث:

ΔS: التغير في الانتروبي (J/mol·K)

N: عدد مولات الغاز

S_m: الانتروبي المولي القياسي (J/mol·K)

تُعدّ الخواص الحرارية لغاز الأكسجين ضرورية لفهم سلوكه وتفاعلاته الكيميائية.

المصادر

1) القران الكريم
2) إبراهيم ناجي ، الكيمياء الفيزيائية، 2010 ، ص 156
3) د. يحير نوري الجمال ،"فيزياء الحالة الصلبة "،دار الكتب للطباعة والنشر، جامعه الموصل ،2000.
4) د.مؤيد جبرائيل فيزياء الحالة الصلبة الجزء الاول، جامعة بغداد ،1987.
5) إبراهيم ناجي ، "الكيمياء الفيزيائية" ، 2010 ، صفحة 156
6) أحمد عبد الستار السيد، "مبادئ الكيمياء الحرارية" ،2010 ،دار المعرفة الجامعية ،122.
7) سعيد عبد الفتاح ، "الفيزياء الحرارية" 2004، ، صفحة 123
8) عادل عبد الله شلبي ،علم الديناميكا الحرارية ، دار المعارف، 1988،ص 163_ 174.
9) علاء الدين محمد، "الخواص الحرارية للمواد" ، 2015، صفحة 200
10) فرانك م. وايت، 2008 ،John Wiley & Sons، ميكانيكا الموائع الحرارية،2008 ، ص من 30
11) محمد عبد الحميد الشافعي، "مبادئ الكيمياء الفيزيائية"، 2003 ، دار الفكر العربي ،184.
12) محمد عبد الرحمن عطا الله، "مبادئ الديناميكا الحرارية" ،2014 ،دار الكتاب الحديث،224.
13) مؤيد جبرائيل، "فيزياء الحالة الصلبة" ، جامعة بغداد ،1987.
14) مهدي عبد الله ،أساسيات الفيزياء الحرارية ، 2019 ،صفحة 250
15) ناصر الدين محمد، "الثرموديناميك للكيميائيين"،2007، دار وائل للنشر والتوزيع، 153.
16) Çengel و Afshin J. Ghajar، McGraw-Hill Education، 2015 ، أسس انتقال الحرارة والكتلة، ص 5_ 20.
17) 0CRC Handbook of Chemistry and Physics Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen.
18) Cengel و Ghajar," Thermal engineering", Ghajar :دار النشر) McGraw-Hill Education, 2011, pp.53-66.
19) Frank White, John Wiley & Sons "Thermo-Fluid Mechanics " 2008, pp.43-53.
20) P. G., Shermon, diffusion In solids, MCGraw-Hill (1963).
21) Yunus Çengel& Afshin J. Ghajar , "Foundations of Heat and Mass Transfer", McGraw-Hill Education, 2015 , pp 23-38 .
22) Cengel و Ghajar:، McGraw-Hill Education، الهندسة الحرارية ، 2011، ص 40 _ 52

23) McGraw-Hill Education ،2011 ،الهندسة الحرارية ،Cengel و
Ghajar، ص 53