" نفايات شخص مُعيّن كنزٌ لشخص آخر"

إنتاج طاقة من حرق النفايات المنزليّة، تجربة بحث مُستوى 2

دانيال باليك، ياردين أوهانون ورون كوفالينكو، أورط عراد، بتوجيه من المعلمة ياعيل حوريف

عندما اشتركنا في مسابقة "لدينا كيمياء" عَلِمْنا مُنذُ البداية، أننا نُريد إجراء بحث حول موضوع مُهمّ. عندما فكرنا بجديّة في هذا الموضوع، ظهرت العديد من الأفكار المُتعلّقة بإعادة التدوير، لذلك قررنا البحث عن المصانع أو الشركات التي تتعامل مع هذا الموضوع من أجل الحصول على الإلهام. هكذا صادفنا عمل " طَمْر نفايات آفعا " - أكبر موقع لطَمْر النفايات في دولة إسرائيل. كانت الجولة في الموقع هي الدافع للتجربة التي أجريناها.

عن الجولة

رتبنا للقاء السيد كوبي بيتون، مدير تشغيل موقع آفعا. أطلعنا على الموقع، وأوضح لنا عَمَل الموقع ومشاريعهم الحالية والمُستقبلية كما هو مُوضّح أدناه.

يستقبل هذا الموقع 4000 طُن من النفايات المنزليّة يوميًّا. بالمُجمَل، يتمّ نَقِل حوالي 70٪ من النفايات في إسرائيل إلى الموقع. يتعامل الموقع مع النفايات باستخدام البُنى التحتيّة البيئيّة والهندسيّة الأكثر تقدُّمًا، وفقًا لمُتطلَّبات وزارة حماية البيئة والهيئات الأخرى. يتمّ نَقِل جميع النفايات إلى موقع طَمْر النفايات، حيثُ يتمّ تكديس النفايات وتغطيتها بطبقة من التربة لمَنْع انبعاث الغازات في الهواء وتقليل الضَّرَر الذي يلحق بالمناظر الطبيعية قدر الإمكان. يوجد في قاعدة الكومة نظام مانِع للتسرُّب مصنوع من طبقة طينيّة وفوقها طبقة اصطناعية مانِعَة للتسرُّب، والتي لا تسمح لعُصارة النفايات بالتغلغُل في التربة. في كُلّ خليّة طَمْر نفايات يتمّ تركيب نظام لجمع العُصارة، المصنوع من طبقة من الحصى ونظام لتجميع ونقل العُصارة في الأنابيب البلاستيكية. يتم جمع السوائل المرتشِحة خارج خلايا طَمْر النفايات ونقلها إلى أحواض التبخير حيث تتمّ مُعالجتُها. تتمّ المُعالجة

* حازت هذه التجربة على الجائزة الأولى في مسابقة "لدينا كيمياء" عام 2018

عن طريق تبخير الماء الذي يُشكّل الجُزء الأكبر من حجم العُصارة (في الوضع الحالي، التبخير ليس بالسرعة الكافية، وبالتالي فهم يبحثون عن طُرُق لتحسين العملية). ترسُب الموادّ الصلبة حتى يتمّ تقليل حجم حوض التبخير، ثمّ يتمّ دفنها في الموقع. تمّ تركيب نظام تجميع الغاز الحيوي (الميثان) في اثنين من مطامر النفايات في الموقع. يتمّ تجميع الغاز من خلايا الطَمْر من خلال أنظِمَة الحفر التي تخترق حوالي عُمق 20 مترًا في مُجمَّع النفايات. يتمّ تجميع الغاز في نظام قائم على المُولّدات، والذي يَستخدِم غاز الميثان المُحترِق لتوليد الكهرباء، وبالتالي ينتُج في المصنع كهرباء "خضراء" تتيح توفير الكهرباء لمدينة مُتوسِّطة الحجم في إسرائيل. يتم نقل فائض الميثان إلى شُعلة التي تحرقه. بهذه الطريقة، يمنع النظام انبعاث الغاز الحيوي إلى الهواء.

سوف نفحص في التجربة الطاقة المُنطلِقة من حرق الموادّ المختلفة التي يتمّ التخلُّص منها كنفايات. ستمكّن هذه العملية من إنتاج الطاقة من مصدر مُتجدِّد ويُقلّل الاعتماد على مصادر الطاقة غير المُتجدِّدة مثل الفحم.

موقع طَمْر النفايات

خلفيّة علميّة

تفاعل مُشِعّ للحرارة – إكزوثيرمي- هو تفاعل كيميائيّ الذي تنطلِق خلاله الطاقة إلى البيئة المُحيطة، على النقيض من ذلك تفاعل ماصّ للحرارة - إندوثيرمي، خلاله يتمّ امتصاص الطاقة من البيئة المُحيطة. في تفاعل إكزوثيرمي انثالبيا التفاعل سالبة.

الفحم - يُعتبر الفحم من المصادر الهامّة والرئيسيّة للطاقة في العالم اليوم، فهو يشكل 30٪ من طاقة العالم و 50٪ من كهرباء العالم. في تفاعل احتراق الفحم، ينطلِق ثاني أكسيد الكربون إلى الهواء، وهو غاز الذي يزيد من الاحتباس الحراري. في الوقت الحاضر، يتمثَّل الاستخدام الرئيسيّ للفحم في توليد الكهرباء من خلال توربينا التي تَستَخدِم الحرارة الناتجة عنه أثناء احتراقه. يتمّ إنتاج حوالي نصف الكهرباء في العالم حاليًا في محطات توليد الطاقة المُعتمِدة على الفحم. زاد استهلاك الفحم في المائتي عام الماضية مائة ضعف. يُعدّ تعدين الفحم عملاً شاقًّا وفي عمليّة حرق الفحم، ينتُج الكثير من الجُسيْمات التنفُّسيّة التي تُؤدّي إلى التلوُّث. لهذا السبب نحاول إيجاد بديل له أقل تلويثًا.

تفاعل الاحتراق: $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$

حرارة احتراق الفحم حسب كتاب المُعطيات 393.5 KJ / mol. في هذه التجربة سنحرق 4 جرام. كتلة مولارية مقدارها 12 جرامًا لكل مول، أي أننا سنحرق 1/3 مول من الفحم، ومن المتوقع أن تكون الحرارة المنبعثة 131.2 كيلو جول. استخدمنا في التجربة الفحم النباتي، بينما في محطات الطاقة يستخدمون الفحم الحجريّ، وهذا لأنّ هذه هي المادّة الخام المُتوفِّرة لدينا.

الإيثانول بتركيز 95٪: مُركَّب عُضويّ من عائلة الكحول ، صيغته: C_2H_5OH. في تجربتنا، يتمّ استخدام الإيثانول كمادّة احتراق التي تُساعد على إشعال جميع الموادّ، بحيث يكون حجمه (وكتلته) عاملاً ثابتًا في التجربة.

حرارة احتراق الفحم حسب كتاب المُعطيات 393.5 KJ / mol. في هذه التجربة سنحرق 4 غم. كتلة مولارية مقدارها 12 غراما لكل مول، أي أننا سنحرق 1/3 مول من الفحم، ومن المتوقع أن تكون الحرارة المُنطلِقة 131.2 كيلو جول. استخدمنا في التجربة الفحم النباتي، بينما في محطّات الطاقة يستخدمون الفحم الحجريّ، وهذا لأنّ هذه هي المادّة الخام المُتوفِّرة لدينا.

الإيثانول بتركيز 95٪: مُركَّب عُضويّ من عائلة الكحولات، صيغته: C_2H_5OH. في تجربتنا، يتمّ استخدام الإيثانول كمادّة احتراق التي تُساعد على إشعال جميع الموادّ، بحيث يكون حجمُه (وكُتلتُه) عاملاً ثابتًا في التجربة.

الكورن فليكس: الذُّرة هي نبات من عائلة الحبوب، والتي تُعد حاليًا أكثر المحاصيل الزراعيّة انتشارًا في العالم. يتكوّن مُعظمُها من النشا والذي هو بوليمر مُكوَّن من وحدات مُتكرِّرة من الجلوكوز. قيمة السعرات الحرارية للكورن فليكس، كما هو مكتوب على عبوة "كورن فليكس أوف تشامبيونز – رقائق ذرة مُحمّصة من "ثيلما" هي: 381 كيلو كالوري لكل 100 غم. استخدمنا في تجربتنا 4 غرامات من الكورن فليكس، والتي وفقًا للحسابات تعادل حوالي 15.24 كيلو كالوري، أي ما يعادل 63.64 كيلوجول لكُل أربعة غرامات.

ملابس قطنية 100٪: القطن عبارة عن ألياف ناعمة تنمو حول بذور نبات القطن. غالبًا ما تُستَخدم هذه الألياف في غزل الخيوط ونسجها في نسيج ناعم و "قابل للتنفُّس". عندما تمّ تنظيف القطن وإزالة الشمع والبروتينات، بقي بوليمر طبيعي من السليلوز النقّي، الذي تُصنع منه الأقمشة. السليلوز عبارة عن بوليمر يتكوّن من سلاسل طويلة من جُزيئات بيتا- جلوكوز. الصيغة الكيميائية للسليلوز هي: $(C_6H_{10}O_5)_n$

اخترنا هذه المادّة لأنّهُ هناك العديد من الأقمشة المُمزَّقة التي يتمّ إلقاؤها في سَلّة المُهمَلات وتُلوِّث البيئة. بمُساعدة هذه التجربة، نُحاول إيجاد استخدام جَيِّد للأقمشة بدلًا من نقلها إلى مطامر النفايات والمزابل، كما يتمّ استخدام القطن في بحثنا كتمثيل للملابس التي تمّ التخلص منها.

الكلكار - الكلكار، المعروف أيضًا باسم البوليسترين الرغويّ، هو بوليمير من المونومير ستيرين الذي صيغته الكيميائية . وهو هيدروكربون سائل الذي يتمّ استخراجُهُ تجاريًا من البترول. هذه المادّة لا تتحلل أبدًا، فهي تُلوِّث البيئة في مطامر النفايات، وبالتالي فهي من أكبر المشاكل البيئيّة في العالم. في التجربة فحصنا إمكانيّة توليد الطاقة من حرق الكلكار. يتمّ استخدام الكلكار في بحثنا كتمثيل للموادّ البلاستيكية والنفايات الاصطناعيّة التي يتمّ التخلُّص منها.

حساب انثالبيا الاحتراق - نحسب الطاقة المُنطلِقة (KJ) عن طريق فحص الفرق في درجة حرارة السائل الذي هو جُزء من البيئة المُحيطة للنظام، قبل وبعد الاحتراق، ومن ثُمّ نقوم بالتعويض في المُعادلة $Q = mC_p\Delta T$

Q - الحرارة في النظام؛ m - كتلة المادّة المُحترِقة ؛ Cp - السِّعَة الحراريّة للسائل (البيئة المُحيطة) الذي يُحيط بالنظام. (ماء- 4.19 KJ / Kg^{o} C)، ΔT - فرق درجة حرارة السائل.

حساب انثالبيا احتراق الإيثانول - انثالبيا احتراق الإيثانول السائل: ΔH_c = -1370.7 $\frac{KJ}{mol}$ في التجربة تمّ استخدام 13.41 غم من الإيثانول 95٪. الكتلة المولارية للإيثانول: 46 غم / مول.

نحسِب كميّة الطاقة النظرية المُنطلِقة.

حساب عدد مولات الإيثانول التي تمّ حرقُها:

13.41g*0.95/46g/mol=0.277mol

الطاقة المُنطلِقة: 0.277*1370.7=379.6 KJ

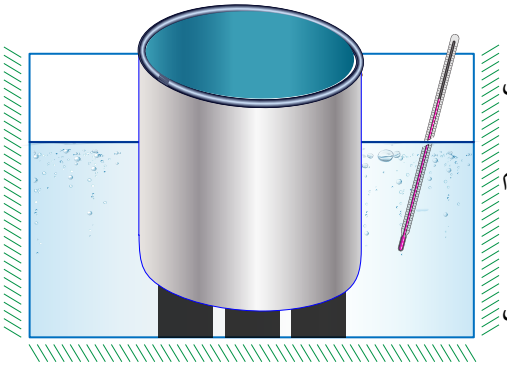
حساب كميّة الطاقة التي يمتصها الماء: Q=502*4.19*50/1000=105.2KJ

كالوريمتر - جهاز قياس يُستخدم لقياس الحرارة المُنطلِقة من التفاعلات الكيميائية أو التغيُّرات الفيزيائية. يتكون الكالوريمتر البسيط من مقياس حرارة مُتصِل بوعاء معزول، وتتمثل وظيفتُه في إيجاد التغيُّر في الانثالبيا لكُل مول مادّة ما في تفاعل بين مادتين. نُضيف الموادّ لداخل الكالوريمتر ونقوم بقياس درجات الحرارة قبل وبعد انتهاء التفاعل. نقوم بعمليّة حسابية نضرب فيها التغيُّر في درجة الحرارة بالكتلة والسِّعة الحرارية فنحصل على قيمة الطاقة المُنطلِقة أثناء التفاعل (بافتراض أن التفاعل مُشعّ للحرارة). نقوم بقسمة تغيُّر الطاقة على عدد مولات المادّة فنحصُل على التغيُّر في الانثالبيا للتفاعل.

تمّ بناء كالوريمتر مرتجل على النحو التالي:

يحتوي النظام على:

- وعاء عازل (في الرسم التوضيحيّ باللون الأخضر)
- وعاء احتراق مصنوع من معدن (في الرسم التوضيحيّ باللون الرمادي)
- مقياس درجة الحرارة
- سائل (في الرسم التوضيحيّ سطح السائل باللون الأزرق)
- ثقّالات (في الرسم التوضيحيّ باللون الأسود)



رسم تخطيطيّ لنظام التجربة

نظام التجربة - كالوريميتر (مسعر)

وَصْف النظام

يوجد داخل الوعاء العازل وعاء احتراق معدنيّ مُثبَّت عليه ثقّالات معدنيّة لمنع الوعاء من الطفو. يوجد حول وعاء الاحتراق حجم فارغ مملوء بسائل وداخل السائل مقياس لدرجة الحرارة. سيتم إدخال المادّة العضوية التي يتمّ فحصها إلى وعاء الاحتراق. نتيجة لتفاعل الاحتراق، ستنطلق حرارة، وستسمح الموادّ المصنوع منها وعاء الاحتراق بنقل الحرارة بالشكل الأمثل إلى السائل. الوعاء الخارجيّ عازل، وبالتالي يمنع فقدان الحرارة للبيئة المُحيطة. وعاء الاحتراق مفتوح لكي يُمكّن دخول الأكسجين الضروري لتفاعل الاحتراق الكامل. تمّ بناء النظام من وعاء مصنوع من الألومينيوم وتمّ لصق الثقّالات في قاعه.

تمّ إدخال الوعاء إلى وعاء زجاجيّ حوله مادّة عازلة. حول المادّة العازلة أضفنا غلافًا من الألومينيوم لأسباب تتعلق بالسلامة والأمان (لمنع الاشتعال).

تفاعل احتراق في الكالوريمتر

سير البحث

سؤال البحث الذي اخترناه: كيف يؤثر نوع المادّة المُحترقة على كمية الطاقة المُنطلِقة؟

المُتغيِّر المُستقل: نوع المادّة المُحترقة. اخترنا العامل الثابت ليكون كتلة المادّة حتّى نتمكّن من المقارنة بين الموادّ المختلفة.

المُتغيِّر المُتعلّق: كمية الطاقة المُنطلِقة (كيلوجول). تُحسب الطاقة المُنطلِقة عن طريق فحص فرق درجة الحرارة في السائل قبل عمليّة الاحتراق وبعدها، ثم تعويضها في المعادلة .

الفرضية: نفترض أنه في جميع عمليات الاحتراق، سيتم إطلاق الطاقة إلى البيئة المُحيطة. من الصعب تحديد المادّة التي ستُنتِج أكبر مقدار من الطاقة. حاولنا أن نحسِب بالاعتماد على طاقة الرابط، لكن هذه الطريقة مناسبة للمواد الغازية فقط لأن الروابط التي بين الجزيئات لم تؤخذ بعين الاعتبار في هذه المعادلة. في جميع النفايات التي ننوي حرقها، توجد روابط فان در فالس، لذا فإن معادلة الحساب هذه ليست مناسبة لنا. بحسب اعتقادنا، فإن الطريقة المقبولة لحساب الطاقة هي فقط بمساعدة الكالوريمتر الاحترافي.

قيمة انثالبيا احتراق الفحم النظريّة - 393.5 KJ / mol. في هذه التجربة سنحرق 4 غم. الكتلة المولارية مقدارها 12 غراما لكل مول، أي أننا سنحرق 1/3 مول من الفحم، ومن المتوقع أن تكون الحرارة المُنطلِقة 131.2KJ.

الحرارة المتوقَّعة من احتراق الكورنفلكس هي 63.64 كيلوجول (كما هو مُوضَّح في الخلفيّة العلميّة). لذلك نفترض أنّ الفحم سيُطلِق كميّة أكبر من الطاقة. اليوم، تُستخدم الذُّرة كمصدر للطاقة، لذلك نفترض أن الكورن فليكس المصنوع من الذُّرة سيكون إحدى موادّ النفايات التي تُطلِق أكبر كميّة من الطاقة.

تخطيط التجربة

الأدوات والموادّ

- 4 غم من الكورنفليكس (رقائق الذُّرة).
- 4 غم من الملابس القُطنيّة ٪100.
- 4 غم من الفحم.
- 4 غم من الكلكار.
- 67.05 جم إيثانول ٪95 (90 مل).
- 2510 جرام ماء.
- 5 مخبار مُدرَّج زُجاجي، 20 ملل.
- محقان.
- 5 أكواب كيميائية سعة 800 مل.
- ميزان.
- عامود مع ملقط.
- ولاعة طويلة.
- ساعة التوقيف.
- الكالوريمتر المُرتَجل (كما هو مذكور في الخلفيّة العلميّة).

سير التجربة

الضابط في التجربة: ضابط خارجي - حرق الإيثانول بدون أي مادّة إضافية. في كل تجربة، تمّت إضافة نفس الكميّة من الإيثانول لبدء عمليّة الاحتراق. في الضابط سنحرق الإيثانول فقط. فحص كمية الطاقة المُنطلِقة من حرق الإيثانول وحده يمكن مقارنتها بالقيمة النظريّة والفرق بينهما هو عبارة عن خسارة الحرارة إلى البيئة المُحيطة (خسارة الحرارة التي لا يمتصُّها السائل) في نظام التجربة.

العوامل الثابتة: كتلة المادّة المحترقة ثابتة؛ السائل في الكالوريمتر - الماء؛ حجم السائل في الكالوريمتر؛ درجة حرارة الماء الابتدائيّة؛ كتلة الإيثانول وتركيز الإيثانول؛ مُدّة زمن الاحتراق*؛ درجة حرارة البيئة المُحيطة؛ أدوات القياس (كالوريمتر، مقياس درجة الحرارة، وعاء لقياس الحجم، ميزان).

* تمّ جمع المُعطيات المُتعلّقة بدرجة الحرارة في أوقات مُحدَّدة حتى انطفأ النظام. رأينا أنه بعد فترة زمنية مُعيَّنة، وصلت جميع الأنظمة إلى درجة حرارتها القصوى، لذلك قرّرنا التطرُّق إلى زمن احتراق ثابت.

من المُهِم الحفاظ على هذه العوامل الثابتة بحيث تكون الخسارة إلى البيئة المُحيطة مُتشابه وبهذا يمكننا المقارنة بين الموادّ المُختلفة.

مراحل التجربة

- قوموا بوزن 13.41 غم (18 ملل) من الإيثانول ٪95 في مخبار مُدرّج حجمه 20 ملل. كرّروا العمليّة 4 مرات إضافيّة.
- قوموا بوزن 4 غم من الموادّ التالية: فحم، قماش قطن ٪100، كورن فليكس (رقائق الذُّرة)، كلكار.
- قوموا بوزن 502 غم من الماء في كأس كيميائي حجمه 800 ملل (يتم تحديد هذا الحجم لأن هذا هو حجم الماء الذي يجب إضافته حتى يصل مستوى الماء تمامًا إلى عتبة وعاء الاحتراق). كرّروا العمليّة 4 مرات إضافيّة.
- أضيفوا الماء إلى الكالوريمتر في المكان المُخصَّص له.
- أنقلوا 13.41 غم من الإيثانول إلى وعاء الاحتراق في الكالوريمتر.
- سجّلوا درجة حرارة الماء الابتدائيّة (وفقًا لما يظهر في مقياس درجة حرارة الكالوريمتر).
- جهّزوا ساعة التوقيف وأشعلوا الإيثانول بمساعدة ولاعة طويلة.
- سجّلوا قراءة مقياس درجة الحرارة في الأوقات المُسجّلة في الجدول وأكملوا الجدول:

الوقت (بالدقائق)	0.4	1.4	3.4	4.3	6	7.4	8.4	9.4
درجة الحرارة (درجة مئوية)								

- استبدلوا الماء في كل مرة بماء آخر الذي قمتم بتوزينه، من أجل البدء بنفس درجة حرارة الماء وكرّروا الخطوات مع الموادّ التالية:

١. إيثانول بدون مادّة إضافيّة (يتم تنفيذ الفحص مرتين).

2. 4 غم من الملابس القطنية 13.41 + 100٪ غم من الإيثانول (يتم تنفيذ الفحص مرتين).
3. 4 غم من الفحم + 13.41 غم من الإيثانول.
4. 4 غم من الكورن فليكس + 13.41 غم من الإيثانول.
5. 4 غم من الكلكار + 13.41 غم من الإيثانول.

- لخِّصوا جميع النتائج في جدول واحد.
- احسبوا الطاقة المُنطلِقة في الماء باستخدام المعادلة التالية $Q = mC_p\Delta T$ لحساب الطاقة الحرارية.

مُشاهدات

الإيثانول: كانت درجة الحرارة الابتدائيّة وفقًا لمقياس درجة الحرارة 18 درجة مئوية. بمُجرَّد أن أشعلنا الإيثانول عديم اللون، ظهرت شعلة كبيرة، وبدأت درجة الحرارة في الارتفاع. في نهاية التفاعل، لم يتبقّ أي إيثانول في وعاء الاحتراق، وكان الوعاء والماء ساخنين. (نفّذنا التجربة مرتين للتأكُّد من التكرار)

قطن + إيثانول: كانت درجة الحرارة الابتدائيّة حسب مقياس درجة الحرارة 18 درجة مئوية. بمُجرَّد أن أشعلنا الإيثانول عديم اللون مع القطن الأبيض، ظهرت شعلة كبيرة، وبدأت درجة الحرارة في الارتفاع. في نهاية التفاعل، بقي 1.64 غم من القطن الأسود (في النظام 1) و 1.70 غم من القطن الأسود (في النظام 2) في وعاء الاحتراق، وكان النظام ساخنًا. (نفّذنا التجربة مرتين للتأكُّد من التكرار)

الكلكار + الإيثانول: كانت درجة الحرارة الابتدائيّة وفقًا لمقياس درجة الحرارة 18 درجة مئوية. بمُجرَّد أن أشعلنا الإيثانول عديم اللون والكلكار الأبيض، ظهر لهب كبير وبدأت درجة الحرارة في الارتفاع. في نهاية التفاعل، بقي 3.4 غم من الكلكار الأسود (في النظام 1) و 3.8 غم (في النظام 2) في وعاء الاحتراق، وكان الوعاء والماء ساخنين. خسِرَ الكلكار من حَجْمِهِ داخل وعاء الاحتراق. (نفّذنا التجربة مرتين للتأكُّد من التكرار).

الفحم + الإيثانول: كانت درجة الحرارة الابتدائيّة وفقًا لمقياس درجة الحرارة 18 درجة مئوية. بمُجرَّد أن أشعلنا الإيثانول عديم اللون مع الفحم الأسود، ظهرت شعلة كبيرة، وبدأت درجة الحرارة في الارتفاع. في نهاية التفاعل، بقي 3.97 غم من الفحم الأسود في وعاء الاحتراق، وكان الوعاء والماء ساخنين.

الكورن فليكس + الإيثانول: كانت درجة الحرارة الابتدائيّة وفقًا لمقياس درجة الحرارة 18 درجة مئوية. بمُجرَّد أن أشعلنا الإيثانول عديم اللون مع الكورن فليكس الأصفر، ظهرت شعلة كبيرة وبدأت درجة الحرارة في الارتفاع. في نهاية التفاعل، بقي 3.76 غم من الكورن فليكس، والتي تحوَّلت إلى اللون الأسود في وعاء الاحتراق، وكان الوعاء والماء ساخنين.

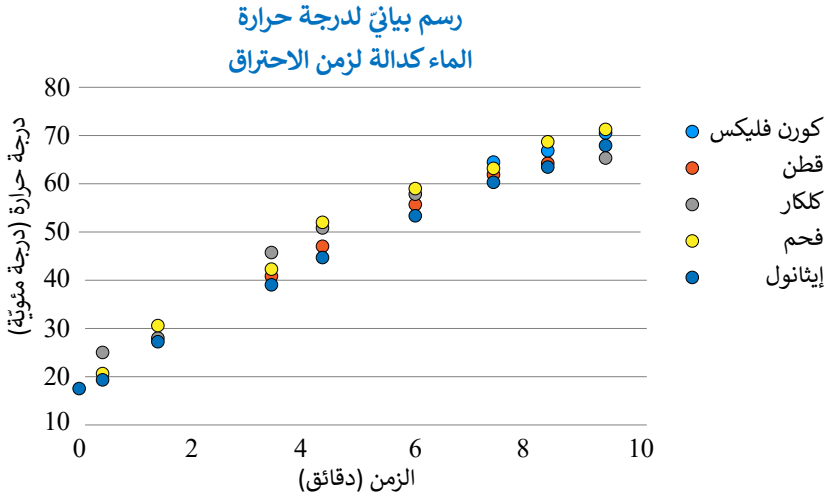
نظرًا لعدم وجود فروق ذات دلالة بين التكرارين في عمليات الاحتراق الثلاثة الأولى، وبسبب ضيق الوقت، فقد قررنا الاكتفاء بتكرار واحد في بقية التجارب.

مُعالجة المُشاهدات

تركيز مُعطيات مقياس درجة الحرارة في الجدول

الوقت [دقائق] / درجة [^{O}C]	كورن فليكس	قطن	الكلكار	فحم	الإيثانول
0	18	18	18	18	18
0.4	21	21	25	21	20
1.4	31	28	28	31	27
3.4	41	41	46	42	40
4.3	51	47	51	52	45
6	59	55	58	60	52
7.4	65	62	63	63	60
8.4	68	65	64	70	64
9.4	70	68	65	71	68

مُعالجة المُشاهدات في رسم بيان



التوجُّه: يمكن أن نرى أنّهُ بالنسبة لجميع موادّ الاحتراق ترتفع درجة الحرارة مع مرور الزمن

حسبنا كميّة الطاقة التي يمتصُّها النظام كما هو مُوضَّح في الخلفيّة العلميّة. حسبنا الطاقة المُضافة نتيجة لحرق المادّة العضويّة عن طريق طَرْح كميّة الطاقة من الإيثانول من إجمالي الطاقة المحسوبة.

تمّ تلخيص النتائج في الجدول التالي:

	رقائق الذرة	قطن	الستايروفوم	فحم	الإيثانول
حساب الطاقة التي يمتصُّها الماء KJ	109.4	105.2	98.9	111.5	105.2
الطاقة المُضافة نتيجة لحرق المادّة العضويّة KJ	4.21	-	-6.31	6.31	-

تفسير المُشاهدات

- لم يُلاحَظ وجود فروق ذات دلالة بين درجة حرارة الموادّ المختلفة. توجد للماء سِعَة حراريّة مرتفعة. استخدام سائل ذو سِعَة حراريّة أقلّ (مثل الزيت) من الممكن أن ينتُج عنه نتائج أكثر تنوعًا بحيث يمكن استخلاص استنتاجات مُوسَّعة أكثر.
- كميّة الطاقة التي يمتصُّها النظام أقل من القيمة النظريّة المحسوبة في الخلفيّة العلميّة. هذا بسبب خسارة حرارة للبيئة المُحيطة التي لم يمتصها الماء. على الرغم من استخدام نظام معزول، لا تزال هناك خسارة في الحرارة أيضًا من خلال العازل ومن الجُزء العلوي الذي يبقى مفتوحًا للسماح بدخول الأكسجين.
- التفسيرات المُمكنة لبقايا الموادّ المتبقية في التجارب المُختلفة:
  - قد لا تكون درجة الحرارة مرتفعة بما يكفي للوصول إلى الاحتراق الكامل.
  - الموادّ التي استخدمناها ليست مُركّبات نقيّة، وهي تحتوي على شوائب تبقى في نهاية عمليّة الاحتراق. يحدث هذا في كل عمليّة احتراق لأننا ما زلنا نفتقر إلى التكنولوجيا المناسبة للوصول إلى مُركّب نقي ومادّة نظيفة تمامًا.
- تحوَّل القطن والكورن فليكس إلى اللون الأسود بسبب الكربنة.
- الإيثانول مادّة قابلة للاشتعال، لذلك عندما تمّ تقريب الولاعة المُشتعِلة إليه، اشتعلَ وحرق النفايات التي كانت معه في وعاء الاحتراق.
- ترتفع درجة حرارة الماء لأنّ وعاء الاحتراق موجود داخل الوعاء، وهو مصنوع من مادّة موصلة للحرارة (الألومينيوم). هناك انتقالات حرارة بين الوعاء الداخلي والماء، وعملية الاحتراق تُطلِق حرارة (تفاعل اكزوثيرمي)، ويمتصّ الماء الحرارة المُنطلِقة.
- لا يوجد فائض إيثانول في الوعاء لأنه في كل واحدة من المُشاهدات تمّ حرق الإيثانول بالكامل.
- نظرًا لأن الطاقة المُنطلقة من حرق الكلكار مع الإيثانول أقلّ من تلك التي تمَّ الحصول عليها من الإيثانول فقط، فإننا نفترض أن الكلكار ذاب أثناء عمليّة الاحتراق، وأن هذه العمليّة امتصّت جُزء من الطاقة المُنطلقة أثناء عمليّة الاحتراق، وبالتالي تمّ تسخين الماء أقلّ.

استنتاجات

- في جميع عمليّات الاحتراق، كما هو متوقع، انطلقت الطاقة إلى البيئة المُحيطة.
- الموادّ العضوية قابلة للاحتراق.
- لاحظنا أن الموادّ التي تحتوي على السُّكّريات (في القطن - السليلوز وفي الغذاء - الجلوكوز) تنتُج كميّة أكبر من الطاقة.
- بِحَسب النتائج يمكن أن نرى أنه يمكن استغلال النفايات لإنتاج الطاقة. يوصى بفحص الكلكار والقطن مرة أخرى بمساعدة كالوريمتر احترافي. يوصى بفحص الانبعاثات أيضًا، هنالك طُرُق لتقليل الانبعاثات والتعامل معها، ولكن على أي حال يجب الأخذ بالحسبان أن الموادّ ليست نقية، وبالتالي ستنطلق أيضًا غازات أخرى بالإضافة إلى ثاني أكسيد لكربون و بخار الماء أيضًا في ظروف الاحتراق الكامل.
- تدعم نتائجنا الفرضية ولكن كما ذكرنا بالتفصيل، هنالك تقييدات.
- كما توقعنا من بين جميع الموادّ التي اختبرناها، كان الكورن فليكس واحدة من النفايات التي تُنتِج أكبر كميّة من الطاقة.

النقد البنَّاء

- لم يكن الكالوريمتر معزولًا بشكل كافٍ، لذلك كانت هناك خسارة حرارة للبيئة المُحيطة لم يمتصها الماء. وعلى الرغم من أننا أضفنا إليه طبقة عازلة، لا تزال هناك خسارة، لأنه كما ترون في الصورة، فإنّ الجُزء العلويّ بقي مفتوحًا للسماح بدخول الأكسجين، ولم يكن العزل مُطلقًا.
- أثناء التجربة، توقّف جزء من مقياس درجة الحرارة عن العمل (أي توقفت درجة الحرارة فيها عن الارتفاع فوق ٢٢ درجة مئوية، على الرغم من استمرار حدوث التفاعل). هذا خلل في التجربة واستغرق الكثير من الوقت.
- جميع الموادّ لم تحترق بالكامل باستثناء الكحول، وبالتالي فإن كميّة الطاقة المُنطلِقة لم تكن القصوى.
- في الخلفيّة العلميّة التي ذكرناها في البداية تطرّقنا إلى الفحم النقيّ، بينما استخدمنا فحم خشبيّ غير نقي تمامًا، لذا فإن قيمة الانثالبيا النظريّة لا تُمثِّل العمليّة بشكل دقيق.

تلخيص

كل يوم، يتم إلقاء 6000 طن من النفايات في دولتنا الصغيرة وحدها، ولا يتم فعل شيء بهذه الكميّة الهائلة من النفايات. عندما بدأنا البحث، كان هدفنا هو إيجاد استخدام للنفايات العديدة التي يتم التخلُّص منها كل يوم، وقد نجحنا.

اكتشفنا في بحثنا أن حرق النفايات مفيد بالفعل. بادئ ذي بدء، لأنها لا تُستَخدم على الإطلاق، لذلك حتى لو كانت تُنتِج كمية أقلّ من الطاقة مقارنةً بالفحم، فإنّها لا تزال متوفرة وأرخص من الطاقة المُنتجة من الفحم (وهو مادّة غير متجددة)، وبالتالي استخدامُها فعّال.

ثانيًا، تُعد عمليّة تعدين الفحم مُلوِّثة وخطيرة لعُمّال المناجم، لذا فإنّ إعادة استخدام النفايات - لن يفيدنا فقط (نظرًا لتوفرها وتكلفتها)، بل سيفيد أيضًا البيئة عن طريق تقليل كمية النفايات المُرسلة إلى مطامر النفايات. بالإضافة إلى ذلك، ستفيد هذه العملية أيضًا حياة عُمّال المناجِم المُعرّضين للخطر في عمليّة تعدين الفحم.

خبراتنا من البحث: كان البحث عمليّة طويلة وفيها تحدٍّ، وشمِلَ العديد من الأزمات، لكننا تمكّنا من تجاوزها في النهاية، ونحن راضون جدًا عن النتيجة النهائية، وذلك بفضل الدعم الذي تلقيناه كل واحد منا للآخر، ومن معلمتنا ياعيل.

الأسئلة التي نبعت بعد التجربة

- ما هي الغازات المُنطلِقة أثناء عمليّة احتراق الموادّ؟
- كيف يمكن تقليل الانبعاثات؟
- كيف يمكن استخدام الانبعاثات واستخدامها في عمليات أخرى؟
- كيف يمكن تقليل كميّات النفايات؟
- كيف يمكن تحسين الكالوريمتر المُرتجل لدينا من أجل الحصول على نتائج أكثر موثوقية ودِقّة؟

فهرس

- مموقع "موقع آفعا". http://www.ef-eh.com/
- ويكيبيديا.
- كتاب مُعطيات "كيمياء تحدّيات". المحرر: إيتا كوهين. الطبعة التاسعة. قسم تدريس العلوم، معهد وايزمان للعلوم، رحوفوت.
- تأثير الدفيئة - http://ecowiki.org.il/wiki/%D7%90%D7%A4%D7%A7%D7%98_%D7%94%D7%97%D7%9E%D7%9E%D7%94
- NIST Chemistry webbook http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C64175&Mask=2
- مُعطيات الانثالبيا - https://chemistry.stackexchange.com/questions/28641/hesss-law-enthalpy-of-combustion

شكر

- مدير تفعيل موقع افعا - السيد كوبي بيتون.
- معلمتنا ورفيقتنا ياعيل حوريف التي بقيت معنا حتّى الساعات المُتأخِّرة من الليل لقراءة وظيفتنا ومُساعدتنا في تحسينها.
- د. ديبورا مارشاك للكيمياء الفيزيائية.
- مارسيلو كولكر – عامل المُختبر.