مايكل فاراداي

التاريخ الكيميائي لشمعة

دروس مبسطة
في الفيزياء والكيمياء

ترجمة: أحمد سمير سعد

مايكل فاراداي

التاريخ الكيميائي لشمعة

دروس مبسطة
في الفيزياء والكيمياء

ترجمة: أحمد سمير سعد

التاريخ الكيميائي
لشمعة

دروس مبسطة

في الفيزياء والكيمياء

مايكل فاراداي

- المؤلف: مايكل فاراداي
- العنوان : التاريخ الكيميائي لشمعة.. دروس مبسطة في الفيزياء والكيمياء
- ترجمة: أحمد سمير سعد
- الطبعة الأولى 2022
- تصميم الغلاف: عمرو الكفراوي
- مستشار النشر: سوسن بشير
- المدير العام: مصطفى الشيخ

رقم الإيداع:
٢٠٢١ / ٢٧٢١١
الترقيم الدولي : ISBN
978 - 977-765 - 320 - 6

جميع الحقوق محفوظة. لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو أي جزء منه، أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات، أو نقله بأي شكل من الأشكال دون إذن مسبق من الناشر.

All rights are reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means without prior permission in writing from the publisher.

Afaq Bookshop & Publishing House

1 Kareem El Dawla st. - From Mahmoud Basiuny st. Talaat Harb
CAIRO – EGYPT - Tel: 00202 25778743 - 00202 25779803 Mobile: +202-01111602787
E-mail:afaqbooks@yahoo.com – www.afaqbooks.com

١ شارع كريم الدولة- من شارع محمود بسيوني - ميدان طلعت حرب- القاهرة - جمهورية مصر العربية
ت: ٢٥٧٧٨٧٤٣ ٠٠٢٠٢ - ٢٥٧٧٩٨٠٣ ٠٠٢٠٢ - موبايل: ٠١١١١٦٠٢٧٨٧

مايكل فاراداي

التاريخ الكيميائي لشمعة

دروس مبسطة في الفيزياء والكيمياء

ترجمة

أحمد سمير سعد

آفاق للنشر والتوزيع

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشؤون الفنية

فاراداي، مايكل
مايكل فاراداي - التاريخ الكيميائي لشمعة
ترجمة: أحمد سمير سعد
ط1 القاهرة - دار آفاق للنشر والتوزيع - 2022
192 ص، 21 سم.
رقم الإيداع 27211 / 2021
الترقيم الدولي 978 - 977 - 765 - 320 - 6
1 - كتب علمية
2 - العنوان

مقدمة المترجم

مايكل فاراداي هو فيزيائيٌّ وكيميائيٌّ إنجليزي، وأحد أعظم علماء القرن التاسع عشر، بل أحد أهم العلماء على مرِّ الزمن. وُلِد فاراداي في نيوينجتون بإنجلترا في ٢٢ سبتمبر ١٧٩١، وتُوفي في ٢٥ أغسطس ١٨٦٧.

كانت حياة فارادي ملهمة بكلِّ المقاييس، إذ عاش في كَنَف أسرة فقيرة جدًّا، عمل أبوه حدَّادًا إلَّا أنَّه كان مُعْتلَّ الصحة أغلب الوقت ولا يقدر على توفير احتياجات أسرته الأساسية، وكانت والدته امرأة قروية هادئة وحكيمة. عانى فاراداي من شظف العيش إلى الحدِّ الذي أجبره على التقوُّت برغيف خبزٍ واحدٍ في الأسبوع، وفي وقتٍ مبكرٍ من حياته أُضطرَّ إلى العمل موزِّعًا للصحف من أجل كسب قوتِه.

إلَّا أنَّ هذا كلَّه لم يمنعه من النجاح والتفوق ودراسة العلوم والنبوغ فيها ومطاردة ما يحب. نشأ فاراداي في أسرة متدينة بروتستانتية تنتمي إلى طائفة الساندیمانیانز، وقد أسهم ذلك في تطوير شخصيته روحانيًّا، وأثَّر كثيرًا في الطريقة التي نظر بها إلى العالم.

ارتاد فاراداي مدارس الأحد حيث تلقَّى تعليمَه الأوَّلي وقد كان تعليمًا بسيطًا للغاية. وفي أحد الأيام حصل على تذكرة لحضور محاضرة للكيميائي الشهير همفري ديفي؛ كانت هذه المحاضرة بمثابة الشرارة التي أجَّجت حماسَ فاراداي وأدرك معها ما الذي يريده تمامًا، قرر وقتها أن يصير عالِمًا، متحديًا كلَّ شيء، وعمل فاراداي فيما بعد مساعدًا لهمفري ديفي في معملِه.

رغم هذه البداية الصعبة جدًّا وغير المبشِّرة على الإطلاق، بدأ فاراداي تجاربَه الأولى بأبسط الأدوات وبالعزم والمثابرة استطاع إنجازَ الكثير وتحقيق ما لم يقدر عليه أحدٌ من قبله.

كان فاراداي هو أوَّل من أنتج مركَّبات الكلور والكربون، وقد كان لتصنيع مثل هذه المركبات أثرٌ كبيرٌ في تغيير فَهْم الكيمياء. كان فاراداي كذلك أوَّل من استطاع الحصولَ على البنزين ووصفَه، كما كان أحدَ رواد علم المعادن (ميتالورجيا).

لم تتوقَّف إنجازاتُه عند حدود الكيمياء بل لعلَّ إنجازاتِه الأكبر كانت في مجال الفيزياء خاصة فيزياء الكهرباء والمغناطيسية، كما كان أوَّل من نجح في بناء محركٍ كهربيٍّ (موتور)، ومولِّد للكهرباء (دينامو).

ربما ظلَّت ذكرى محاضرة همفري ديفي عالقة في ذهن فاراداي رغم كل إنجازاتِه، كما بقي ذلك الصبيُّ الفقير المدقع الشَّغوف بالعلم والعلماء ماثلًا أمام عينيه، لذا ابتدع تقليدًا عظيمًا، ما زال مُتَّبَعًا إلى اليوم؛ ففي عام ١٨٢٥ دشَّن فاراداي ما أُطلِق عليه «محاضرات عيد الميلاد»، وهي محاضراتٌ في العلوم تَوجَّه فيها للفتيان والفتيات، كانت فكرةً رائدةً بكلِّ تأكيدٍ، فكرة تيسير العلوم للعامَّة وإلهام الصغار من أجل ملاحقة حلمٍ جميلٍ، حلم كشف أسرار الكون والمعرفة، أهم ما يميز الإنسان ويلهم خطواته.

استمرَّت هذه المحاضرات منذ ذلك الوقت وحتى اليوم، وصارت تُذاع في عصرِنا الحديث تليفزيونيًّا، إذ يبثُّها التليفزيون الوطني الإنجليزي، ونجد المعهد الملكي راعي هذه المحاضرات العِلم. المعنى الحرفي لسفينة العَلَم أنَّها سفينة الضابط (flagship سفينة عَلَم) يصفها قائلًا: إنَّها البحري الأعلى رتبة، والمقصود بها أنَّها الحدث الأفضل والأهم.

كان توجُّهٌ مثل هذا نحو العامة -وخاصة الفتيان والفتيات- أمرًا نادرًا للغاية في ذلك الوقت، وربما كان ليتردَّد أمامه أيُّ أحدٍ، فما بالنا بعالِمٍ من أهم علماء ذلك العصر يقرِّر تخصيصَ جزءٍ من وقتِه الثمين لجمهورٍ، ربما لن يفهمه أو لن ينصتَ إليه أو لن يستطيع السيطرة على فوضاه وضوضائه، رغم ذلك راهن فاراداي على الناشئة، وراهن على المستقبل وبالتأكيد ربح الرهان.

لم يتوقَّف الأمرُ عند تدشين فاراداي لهذه المحاضرات بل قدَّم بنفسِه ١٩ سلسلة كاملة من سلاسل هذه المحاضرات.

لم تتوقَّف المحاضرات منذ تدشينها على يد فاراداي إلَّا في أثناء الحرب العالمية الثانية، وقد حاضر فيها قاماتٌ علميَّة مهمَّة، فاز بعضُهم بجائزة نوبل، كما حاضر فيها كارل ساجان الشهير.

أذاعت بي بي سي المحاضرات لأوَّل مرة عام ١٩٣٦، وهي تُعدُّ بذلك أقدم سلسلة حلقات تليفزيونية في العالم، ثم تواصل عرضُها تليفزيونيًّا كلَّ عامٍ ابتداء من عام ١٩٦٦ وإلى اليوم.

يحتوي هذا الكتاب على واحدة من سلاسل المحاضرات التي قدَّمها فاراداي في المعهد الملكي ضمن محاضرات عيد الميلاد للناشئة، وقد ألقى هذه السلسلة المكوَّنة من ست محاضرات في عام ١٨٤٨.

ما يميِّز هذه المحاضرة مقاربتُها الساحرة؛ إذ إنَّه ابتداء من شمعة وشعلتِها، نتعمَّق في أساسيات فيزيائية وكيميائية، نعرف عن الاشتعال وعن جسيمات الكربون التي تمنح الشعلة

لمعانَها، نعرف عن مكونات الشعلة وعن مكونات الغلاف الجوي وخواص غازاتِه، بل نعرف عن الكهرباء وعن التحليل الكهربي، نعرف عن الماء وخواصِّه ومكوناتِه وتحوُّلاتِه، بل نعرف كذلك عن العمليات الحيوية وتمثيل الغذاء ونُظُم التوازن البيئي وغيرها من الأمور.

أما أمتع ما في الأمر أنَّ فاراداي وصف مجموعة من التجارِب البسيطة التي يمكن أن يجريها المعلِّمون لتلاميذهم أو يجريها الآباءُ والأمهات لأبنائهم، بل يمكن للفتيان والفتيات كذلك أن يقوموا بها بأنفسِهم بالطبع مع اتخاذ وسائل الحيطة المناسبة وقد أكد فاراداي على ذلك مِرارًا وتكرارًا.

صدرت سلسلة المحاضرات هذه لأول مرة في كتابٍ عام ١٨٦١، ومنذ ذلك التاريخ أُعيد إصدارُها مِرارًا وتكرارًا، وفي عام ٢٠١٦ قام بيل هاماك بنشر سلسلة من الحلقات المصورة، يجري فيها التجارِب نفسها التي أجراها فاراداي، وهو ما يؤكد أنَّ سلسلة محاضرات فاراداي لا تزال تمثِّل مدخلًا ثريًّا لشرح أسسٍ كيميائية وفيزيائية مهمَّة، ولتبسيط العلوم للناشئة عن طريق مقاربة ثرية وبسيطة وساحرة، وتجارِب قابلة للإجراء بسهولة ويسرٍ.

بيل هاماك هو مهندسٌ كيميائيٌّ أمريكيٌّ وبروفيسور في قسم الهندسة الكيميائية بجامعة إلينوي.

ومن الممكن أن تجدوا سلسلة الحلقات التي أعاد فيها إجراءَ تجارِب هذا الكتاب على قناة هاماك على يوتيوب التي تحمل اسم engineerguy.

سجَّل هاماك ستَّ حلقاتٍ، تقابِل كلُّ حلقة فصلًا من فصول الكتاب، وأظنُّ أنَّه من الممكن مشاهدة كلِّ حلقة عقب الانتهاء من الفصل المقابِل لها في الكتاب، وذلك من أجل أكبر فائدة ممكنة.

يحتوي هذا الكتاب بالإضافة إلى سلسلة المحاضرات هذه على محاضرة أخرى لفاراداي عن عِلم المعادن خاصة معدن البلاتين، وفيها معلوماتٌ شيِّقة وبديعة ومحاولة رائدة للتعامُل مع معدنٍ له خواصٌّ ساحرة وعجيبة، ومحاولات أولى للتغلُّب على صعوبات تقنية وتطويع أصعب المواد.

أحمد سمير سعد

تصدير

يا لها من فترة زمنية عريضة فصلت بين مَشعل الصنوبر(1) وشمعة البرافين! يا له من اختلافٍ ضخمٍ قائمٍ فيما بينهما! تدلُّ الوسائل التي يوظِّفها الإنسانُ من أجل إضاءة منزلِه على موضعِه على مقياس الحضارة مباشرة. ثمَّة قِصَصٌ طويلة لتُروى عن كلِّ تلك الوسائل: سائل قار الشرق الأقصى، وقد اتَّقد في أوعية خام من الفخار؛ المصباح الإتروري(2) ذو الشكل الرائع وغير المهيَّأ جيدًا من أجل وظيفتِه مع ذلك؛ شحم الحوت أو عجل البحر أو الدب الذي يملأ أكواخ الإسكيمو، أو إقليم لابي(3)، الذي يبعث روائحَ عوضًا عن الضياء، الشمعة الضخمة المصنوعة من الشمع على المذبح اللامع، تنوعات مصابيح الغاز في شوارعنا. إذا كان لها أن تتكلم (وبإمكانها أن تفعل على طريقتِها الخاصة) قد تُدخِل الدفءَ إلى قلوبِنا بالحديث عن الكيفية التي تخدِم بها راحة الإنسان وحبَّه لبيتِه وكدحه ونسكه.

1) مشعل الصنوبر: مشعلٌ من خشب شجرة الصنوبر. (المترجم).

2) إتروريا: منطقة في وسط إيطاليا. (المترجم).

3) إقليم لابي: منطقة تتبع فنلندا حاليًا. (المترجم).

من المؤكد أنَّه من بين الملايين من عبدة النار ومستخدميها الذين قضوا نحبَهم في العصور الماضية، تأمَّل البعضُ في لغز النار؛ وربما اقتربتْ بعضُ العقول الرائقة بتكهناتِها من الحقيقة في ألمعية. تدبر في زمنٍ عاش فيه الإنسان في جهلٍ يائسٍ: تدبر في أنَّ الحقيقة قد عُرِفت في فترة زمنية قد تكافئ عمر إنسانٍ واحدٍ.

تشكَّلت سلسلة الاستدلال ذرةٌ في إثر ذرةٍ ورابطٌ في إثر رابطٍ. تمَّ التخلِّي عن بعض الروابط التي نُظِّمت سريعًا للغاية وعلى نحوٍ هزيلٍ جدًّا، واستُبدل بها عملٌ أفضل؛ إلَّا أنَّ الظاهرة العظيمة صارت معروفة الآن –الخطوط العريضة مرسومة بشكلٍ صحيحٍ وحاسمٍ– يعمل الفنانون المبدعون على ملء ما بقي، والطفل الذي يبرع في هذه المحاضرات سوف يعرف أكثر مما عرف أرسطو.

تُستخدَم الشمعة نفسُها اليوم من أجل إضاءة الأماكن المُظلِمة في الطبيعة؛ يضيف الحملاج (أنبوبٌ معدنيٌّ صناعي يُستعمَل لتكوين لهبٍ قوي) وكذلك المنشور إلى معرفتنا بقشرة الأرض، لكن دور المَشعل يأتي أولًا.

من بين قرَّاء هذا الكتاب قد تكرِّس قلةٌ نفسَها من أجل زيادة مخزون المعرفة: يجب أن يضيء مَشعل العلم. «تُغذَّى النار Alere flammam».

ويليام كروكس

المحاضرة الأولى

الشمعة

اللهب – مصدره – تركيبه – الحركة - اللمعان

شرفتمونا بحضورِكم من أجل الاطِّلاع على ما نجهّز له هنا، ونظيرُ ذلك سوف أسترجع أمام أعينِكم التاريخَ الكيميائي لشمعة، خلال هذه المحاضرات. لقد قمتُ بهذا الأمر في مناسبة سابقة، وإذا تُرِك أمرُ هذه المحاضرات لي، لوددتُ أن أكرِّرها كلَّ عامٍ تقريبًا؛ موضوعُها على درجة عالية جدًّا من الأهمية، ويقدِّم أمورًا متنوعة رائعة تنفذ إلى أقسام الفلسفة المختلفة. فما من قانونٍ يحكم عملَ أي جزءٍ من هذا الكون إلَّا ونجده عاملًا، ونتلمَّسه في هذه الظواهر، ما من وسيلة أفضل من تأمُّل الظواهر الفيزيائية لشمعة كمدخلٍ لدراسة الفلسفة الطبيعية، وما من بابٍ مفتوحٍ أكبر يمكن الوُلُوجُ عبره من أجل ذلك. ولذلك فأنا على ثقة من أنَّني لن أخذلَكم باختياري هذا الأمر من أجل أن يكون مادتي الدراسية، وليس أيَّ موضوعٍ آخر أحدث؛ فأيُّ موضوعٍ آخر لن يكون أفضلَ، حتى إذا كان جيِّدًا جدًّا.

وقبل المضيِّ قُدُمًا، اسمحوا لي أن أقول هذا أيضًا، إنَّه على الرغم من أنَّ موضوعَنا عظيمٌ جدًّا، ورغم عزمِنا على معالجتِه بأمانة وجديَّة وبفلسفة، إلَّا أنَّني أقصد الإعراض عن كلِّ كِبار السنِّ بيننا. سوف أمنح امتيازَ الحديثِ للناشئة باعتباري نشئًا أنا نفسي. لقد فعلتُ ذلك في المرات السابقة، وسوف أقومُ بذلك مرة أخرى بعد إذنكم. وعلى الرغم من أنَّني أقف هنا، أحظى بالكلمة التي ألقيها على مسامع العالمين، فإنَّ ذلك لن يثنيني عن الحديثِ بالأسلوب الحميمي نفسِه، الذي أتوجَّه به في مثل هذه المناسبات إلى المقرَّبين مني والذين أجلُّهم كثيرًا.

والآن أولادي وبناتي، عليَّ أن أخبركم في البداية مما تُصنَع الشموع، بعضُها تُحَفٌ عظيمة، لديَّ هنا قطعٌ من الخشب، فروع أشجارٍ مشهورة على نحوٍ خاص بالطريقة التي تشتعل بها، وترونْ هنا قطعة من تلك المادة العجيبة المستخرَجة من بعض مستنقعات أيرلندا، والمُسمَّاة (خشب الشمع)، وهو خشبٌ صلبٌ وقويٌّ وممتازٌ، مناسبٌ لمقاومة الضغط بشكلٍ جيِّدٍ، ومع ذلك فهو يحترق بصورة حسنة جدًّا، حيث يُعثَر عليه، ويقطعونه ويصنعون منه مشاعلَ، لأنَّه يحترق مثل شمعة، ويمدُّ بضوءٍ جيدٍ جدًّا بالفعل، يمكننا أن نجدَ في هذا الخشب أحدَ أجمل النماذج

التوضيحية التي يمكنني تقديمُها إليكم عن الطبيعة العامة للشموع. يمكننا الحديثُ عن الوقود المتوفر فيه، والوسائل التي يُستجلَب بها ذلك الوقود إلى موضع الفعل الكيميائي، وإمداد موضع الفعل الكيميائي ذلك بالهواء بشكلٍ منتظمٍ وتدريجيٍّ، والحرارة والضوء، إذ تنتج جميعًا من قطعة خشبٍ من هذا النوع، فهي شمعة طبيعية في الحقيقة.

غير أنَّ علينا الحديثَ عن الشموع كما هي في السوق. ها هنا زوجٌ من الشموع يُطلَق عليها في المعتاد اسم المغموسة. وهي مصنوعة من فتائل من القطن، تُقطَّع وتُعلَّق بواسطة حلقة، ثم تُغمَس في شحمٍ مُذابٍ، تُستخرَج منه من جديدٍ ثم تُترَك لتبرد، ثم يُعاد غمسُها حتى يتراكم الشحمُ حول القطن. ولكي تُكوِّنوا تصوُّرًا عن الصفات المتنوعة لهذه الشموع، انظروا إليها في قبضة يدي، هي صغيرةٌ جدًّا، وعجيبة جدًّا، إنَّها الشموع التي يستخدمها -أو التي كان يستخدمُها- عمالُ المناجم في مناجم الفحم. ففي أزمنة أقدم كان على عامل المناجم أن يعثر على الشموع المناسبة له، وكان يعتقد أنَّ الشمعة الصغيرة -مقارنة بالشموع الكبيرة- لن تُشعِل اللهبَ في غازات المناجم(4) الموجودة بمناجم الفحم. حلَّ محلَّها فيما بعد الصلب الدوار(5)، ومن ثَمَّ مصباح ديفي(6) وبقية مصابيح الأمان من مختلف الأنواع. لديَّ هنا شمعة يُقال إنَّ الكولونيل باسلي أخذها من رويال چورچ(7). لها الآن سنواتٌ عديدة غارقة في البحر، ومُعرَّضة لتأثير المياه المالحة، يبيِّن لكَ ذلك إلى أي مدى يمكن الإبقاءُ على الشموع؛ فعلى الرغم من الشقوق والكسور الكثيرة التي أصابتها، تبدأ في الاحتراق كالمعتاد بمجرد أن تضيئها، ويستعيد الشحمُ خواصَّه الطبيعية بمجرد لَحْمِه.

(4) غازات المناجم: تحتوي مناجم الفحم على غازاتٍ قابلة للاشتعال، مثل غاز الميثان. (المترجم).

(5) الصلب الدوَّار: يتكوَّن من حلقة من الصلب، تدور بسرعة كبيرة، وعندما تحتكُّ بحجرٍ صلبٍ من الكوارتز ينتج سيلٌ من الشرر، يمكن استعماله للإضاءة. (المترجم).

(6) مصباح ديفي: واحدٌ من مصابيح الأمان التي كانت تُستخدَم في المناجم لمنع تسلُّل اللهب منها إلى الغازات القابلة للاشتعال داخل المنجم، ويتكوَّن من فتيلٍ قابلٍ للاشتعال، محاطٍ بغشاءٍ شبكي لمنع تسلُّل اللهب خارجًا، وقد ابتكره الكيميائي البريطاني همفري ديفي. (المترجم).

(7) رويال چورچ: سفينة من سفن الأسطول الملكي. (المترجم).

غرقت رويال چورچ في سبتمبر في التاسع والعشرين من أغسطس ١٧٨٢، بدأ الكولونيل باسلي عمليات إزالة الحطام بتفجير البارود في أغسطس ١٨٣٩، لذلك فالشمعة التي عرضها البروفيسور فاراداي قد تعرَّضت بالتأكيد لتأثير المياه المالحة لِمَا يزيد عن سبعٍ وخمسين سنة.

لقد أمدَّني السيد فيلد من لامبث بعددٍ وافرٍ من النماذج التوضيحية الجميلة للشموع وموادِها الخام، لذلك حان وقت الاستدلال بها. نبدأ بدهن الثور/الشحم الروسي، إذ أظنُّ أنَّه اُستخدِم في تصنيع هذه الشموع المُسمَّاة مغموسة، حوَّلها جاي لوساك(8) -أو من يثق في علمِه- إلى تلك المادة الجميلة المُسمَّاة إستيارين، التي تروْنها موضوعة إلى جوارِه. إنَّ الشموعَ التي تعرفونها ليست دهنية مثل شموع الشحم المعتادة، لكنَّها مهذَّبة ونظيفة، بل يمكنكم كشطُ وسحقُ القطرات التي تسقط منها، من دون تلطيخ أي شيء، لقد قام بالتالي(9): يُغلى الدهنُ أو الشحم أولًا مع جيرٍ حيٍّ، ويُحوَّل إلى صابون، ثم يُحلَّل الصابون باستخدام حمض الكبريتيك، الذي يَنزِع عنه الجيرَ ويترك الدهنَ، وقد أُعيد تنظيمُه في صورة حمض الإستيريك (حمض الشمع)، وتنتج كمية من الجلسرين في الوقت نفسِه. من المؤكد أنَّ الجلسرين هو سكر أو مادة شبيهة بالسكر، تأتي من الشحم نتيجة هذا التغيُّر الكيميائي، ثم يُعصَر الإستيريك لاستخراج الزيت منه؛ وها أنتم تروْن هنا سلسلة من القوالب المعصورة، تُظهِر كيف حُمِلَت الشوائب على الخروج مع الزيت وذلك كلما ازداد ضغطُ العصر، وينتهي الأمرُ ولم يتبقَّ سوى تلك المادة، تُذاب وتُصبُّ في صورة شموعٍ، كما هي معروضة هنا. الشمعة التي أمسك بها في يدي شمعة إستيارين، صُنِعَت من الإستيارين الذي حصلنا عليه بالطريقة التي أخبرتكم إياها. ثم لدينا هنا شمعة عنبر التي يُحصَل عليها من زيت حوت العنبر، وها هنا أيضًا شمع نحلٍ أصفر وشمع نحلٍ مُحسَّن، تُصنَع منه بعض أنواع الشموع، ولدينا كذلك تلك المادة العجيبة المُسمَّاة برافين، وبعض شموع البرافين مصنوعة من برافين، حُصِل عليه من مستنقعات أيرلندا. وبما أنَّنا انسقنا إلى المُضي بعيدًا، فلديَّ هنا كذلك مادة جيء بها من اليابان، نوعٌ من الشمع أرسله إليَّ صديقٌ لطيفٌ، ويُعتبَر مادة خام جديدة لتصنيع الشموع.

(8) جاي لوساك (١٧٨٧ - ١٨٥٠): عالِم فيزياء وكيمياء فرنسي.

(9) يتكوَّن الدهنُ أو الشحمُ من مركَّب كيميائي من الأحماض الدهنية والجلسرين. يرتبط الجيرُ بحمض النخليك (البالميتيك) والزيت (الأولييك) والإستياريك ويفصل الجلسرين. يُحلَّل صابون الجير غير الذائب بعد غسلِه بحمض كبريتيك مخفَّف ساخن، هكذا تصعد الأحماض الدهنية المنصهرة في صورة زيتٍ إلى السطح. تُغسَل من جديدٍ وتصبُّ في أطباقٍ رفيعة وحين تبرد توضع بين طبقتين من حصيرة جوز الهند، وتُعرَّض إلى ضغطٍ هيدروليكي شديدٍ، وبهذه الطريقة يخرج حمض الزيت (الأولييك) السائل تحت تأثير العصر، بينما يبقى حمض النخليك (البالميتيك) والإستياريك المتيبِّس. ثم يُنقَّى هذا المزيجُ أكثر بتعريضِه للضغط في درجة حرارة أعلى وغسله بمحلول حمض كبريتيك مخفَّف ساخن، وحينها يصبح جاهزًا لصناعة الشموع. هذه الدهون أصلب وأكثر بياضًا من الدهون التي حصلنا عليها منها، وفي الوقت نفسِه أنظف وأكثر قابلية للاشتعال.

والآن كيف تُصنع هذه الشموع؟ لقد أخبرتكم عن المغموسة، وسوف أبيّن لكم كيف تُصنَع المُقولَبة، دعنا نتصوَّر أيًّا من تلك الشموع التي تُصنع من مواد خام قابلة للصبِّ في قالبٍ، تقول «الصبّ في قالبٍ!»، «لماذا، إنَّ الشموع تنصهر؛ وما دامت تنصهر، يمكنكَ صبُّها لتأخذ شكلَ القالب بالتأكيد»، لا تمضي الأمورُ على هذه الصورة، من الرائع أن ننظر إلى الكيفية التي تقدَّمت بها الصناعة، وأن نتمعَّنَ في الوسائل التي وُضعَت جنبًا إلى جنبٍ على أحسن وجهٍ من أجل الوصول إلى النتيجة المُرجوَّة، لقد جرت الأمورُ بصورة لا يمكن التنبؤ بها بشكلٍ مسبقٍ. لا يمكن صبُّ الشموع المصنوعة من الشمع في قالبٍ أبدًا، هي تُصنَّع عن طريق عملية خاصَّة، يمكنني شرحُها في دقيقة أو اثنتين؛ إلَّا أنَّني لا يجب أن أقضي وقتًا طويلًا في شرحِها. إنَّ الشمعَ مادة تحترق بكفاءة كبيرة، وتنصهر بسهولة شديدة في الشمعة، ولا يمكن أن تُصبَّ في قالبٍ، مع ذلك، دعنا ننظر في أمر مادة خام يمكن أن تُصبَّ في قالبٍ. ها هنا إطارٌ مثبتٌ فيه عددٌ من القوالب، أول ما نقوم به أن نضع فتيلًا عبره، ها هنا واحدٌ -فتيلٌ مجدولٌ لا يحتاج إلى ما يساعد على الاشتعال(10)- وقد دُعِّمَ بسلكٍ صغيرٍ، يمضي إلى القاع حيث ثُبِّت بوتدٍ، يمسك الوتد بالقطن في إحكامٍ ويغلق الفتحة، ومن ثمَّ لا يمرُّ أيُّ سائلٍ إلى الخارج. وفي الجزء العلوي قضيبٌ صغيرٌ موضوعٌ بالعرض، يشدُّ القطن ويمسك به في القالب، بعد ذلك يُذاب الشحمُ ويُملأ القالب. بعد فترة من الزمن، وبعد أن تبرد القوالبُ، يُسكَب الشحمُ الفائض في أحد الأركان، ومن ثمَّ يُنظَّف تمامًا، وبعد ذلك تُقطَّع نهايات الفتيل. لم يعُد هناك إلَّا الشموعُ في القوالب، وما عليكَ سوى خلخلتِها، كما أفعل الآن، وبعد أن تتحرك، تُسقَّط، لا تحتاج إلَّا إلى القليل من الهزِّ ومن ثَمَّ تسقط خارجًا، إذ إنَّها صُبَّت لتأخذ شكلًا مخروطيًّا، أضيق عند القمة منها عند القاعدة، وبسبب شكلِها وانحسارِها تسقط بسهولة. تُصنع شموع الإستيارين والبرافين بهذه الطريقة نفسها. ومن محفِّزات الفضول أن ننظر كيف تُصنَع شموع الشمع، تُعلَّق أقطانٌ كثيرة على الأُطُر، كما ترون هنا، وتُغطَّى ببطاقاتٍ معدنية عند النهايات من أجل منْعِ الشمع من تغطية القطن في تلك الأماكن. تُحمَل هذه الأُطُر إلى سخان، حيث يُذاب الشمع. وكما ترون من الممكن تحريك الأُطُر لتدور؛ وبينما تتحرَّك وتدور، يأتي أحدُهم بوعاءٍ من الشمع ويصبُّه أولًا على واحدة منها ثم الأخرى ثم الأخرى، وهكذا. وبعد أن تدور حول نفسِها مرة، إذا صارت باردة كفاية، تُمنَح الأولى طبقة ثانية، وهكذا دواليك، حتى تصل جميعُها إلى الثخانة المطلوبة. وعندما تُكسى جميعُها أو تُغذى أو تُشكَّل إلى

تلك الثخانة، تُنزَع وتوضَع في مكانٍ آخر. لديَّ ها هنا بفضلِ لطف السيد فيلد عيناتٌ عديدة من هذه الشموع، ها هنا واحدة نصف تشطيب. تُنزل بعد ذلك وتُلفُّ جيدًا على لوحٍ معدنيٍّ أملس، ثم تُشكَّل القمة على شكل مخروطٍ باستخدام أنابيب لها الشكل المناسب، وتقطَّع القواعد وتُشذَّب. يتم ذلك بصورة جميلة للغاية، ما يجعلهم يستطيعون وَفْق هذه الطريقة تصنيع شموعٍ تزن الأربع منها أو الست رطلًا، أو يزن أيُّ عددٍ منها رطلًا كما يرغبون.

(10) يُضاف في بعض الأحيان القليلُ من ملح البورق أو الفوسفور لجعل الفتيل أكثر قابلية للاشتعال. والبورق، هو مركبٌ أبيض بلوري من بورات الصوديوم المائية (المترجم).

إلَّا أنَّه لا يجب أن نقضي أكثرَ من ذلك فيما يتعلَّق بالتصنيع فقط، بل علينا أن نمضي قدمًا قليلًا في الموضوع. لم أتطرَّق بعد إلى الرفاهية فيما يتعلَّق بالشموع (إذ إنَّ هناك بالفعل رفاهية تتعلَّق بالشموع). انظروا كيف لُوِّنت هذه الشموع بصورة جميلة للغاية: تروْن هنا البنفسجي (الموف) والأرجواني وكلَّ الألوان التي أمكن الحصول عليها مؤخرًا، وقد لُوِّنت بها الشموع. تلاحظون كذلك أنَّ الشموعَ تتخذ أشكالًا وصورًا مختلفة، ها هنا أسطوانات محززة تتخذ أجملَ الأشكال، ولديَّ هنا كذلك بعضُ الشموع، أرسلها إليَّ السيد بيرسال، تحمل تصاميمَ زخرفية، ومن ثمَّ عندما تحترق، تبدو لكم كأنَّ ثمَّة شمسًا مشعَّة تعلوها، وباقة من الزهور أسفل منها. مع ذلك فكلُّ هذا الجمال والإبهار غيرُ مفيدٍ؛ هذه الشموع المحززة التي تبدو جميلة هي شموعٌ سيئة، وذلك بسبب شكلِها الخارجي. لقد أريتكم هذه العينات التي أرسلها إليَّ أصدقاءُ لطفاءُ من كلِّ وجهٍ، كي تروْن ماذا فُعِل بها، وماذا يمكن أن يُفعَل في هذا أو ذاك الصدد؛ إلَّا أنَّه كما قلتُ عندما نصل إلى هذه التحسينات، نصبح مُجبَرين على التضحية بشيءٍ من الوظيفة. والآن فيما يتعلَّق بشعلة الشمعة، سوف نشعل واحدة أو اثنتين ونجعلها تعمل وَفْق وظائفها الأصيلة، تلاحظون أنَّ الشمعة مختلفة للغاية عن القنديل، ففي حالة القنديل تأخذون القليلَ من الزيت وتملؤون وعاءكم، وتضعون فيه قليلًا من العشب أو بعضَ القطن المُجهَّز صناعيًّا، ثم تشعلون قمة الفتيل، عندما تتحرك الشعلة هابطة القطن نحو الزيت تنطفئ، لكنها تواصل الاحتراق في الجزء العلوي. والآن ليس لديَّ أيُّ شكٍّ في أنَّكم سوف تسألونني كيف لهذا الزيت -الذي لن يحترق من نفسِه- أن يصعد إلى قمة القطن، حيث يحترق؟ سوف نختبر هذا حالًا، غير أنَّ ثمَّة شيئًا أكثر جمالًا من هذا يتعلَّق باحتراق الشمعة، لديكم مادة صلبة هنا بلا وعاءٍ يحتويها؛ كيف يمكن لهذه المادة الصلبة أن ترتقي إلى

الموضع حيث الشعلة؟ كيف تصل المادة الصلبة إلى هناك، وهي ليست سائلًا؟ أو كيف تُحوَّل إلى سائلٍ، ثم كيف يُستبقى هذا السائل؟ إنَّه لأمرٌ رائعٌ يتعلَّق بالشموع.

لدينا هنا تيارٌ جيّدٌ من الهواء، سوف يعاوننا في جانبٍ من عروضِنا التوضيحية، لكنَّه سوف يزعجنا في جوانب أخرى؛ سوف أوقد شعلة هادئة من أجل شيءٍ من التنظيم وتبسيط الأمر، فمَن ذا الذي يستطيع دراسة موضوع بينما ثمَّة صعوباتٌ في سبيلِه لا تتعلَّق بموضوعِه؟ ها هنا اختراعٌ حاذقٌ لبعض الباعة الجائلين وبائعي الأسواق من أجل ستْر شموعِهم في ليالي السبت، عندما يبيعون الخضروات الخاصة بهم أو البطاطس أو السمك، لطالما أُعجَبتُ بهذا الاختراع، فهم يضعون زجاجة مصباحٍ حول الشمعة، مثبتة إلى دعامة، تمسك بها، ويمكن جعلُها تنزلق للأعلى والأسفل حسبما يقتضي الأمر، عند استخدامكم لزجاجة المصباح وتوظيفها بالطريقة نفسها، يصير لديكم شعلة ثابتة، يمكنكم أن تنظروا إليها وأن تتفحَّصوها بعناية، كما أرجو أن تفعلوا في البيت.

من ثمَّ سوف ترَوْن للوهلة الأولى حفرة مقعرة جميلة قد تكوَّنت، عندما يصل الهواءُ إلى الشمعة يتحرك إلى الأعلى بفعل قوة التيار الذي ينتج عن حرارة الشمعة، وبذلك يُبرِد كلَّ جوانب الشمع أو الشحم أو الوقود، بحيث يحافظ على الحافة أبرد من الجزء الداخلي؛ يذوب الجزء الداخلي بسبب الشعلة التي تمضي إلى أسفل الفتيل بالقدر الذي تستطيع المضي به قبل أن تخمد. إذا ما جعلتَ التيار في اتجاهٍ واحدٍ فسوف تصبح الحفرة المقعرة مائلةً إلى جانبٍ، ويترتب على ذلك تجاوزُ السائل لها، إذ إنَّ قوة الجاذبية نفسِها التي تمسك بالعالم معًا تمسك بهذا السائل في وضعٍ أفقيٍّ، وإذا لم تكن الحفرة المقعرة أفقية فإنَّ السائلَ سوف يتسرَّب في أخاديد. وهكذا ترَوْن أنَّ الحفرة المقعرة تتكوَّن عن طريق تيار الهواء الصاعد المنتظم في جمالٍ، الذي يعمل على الجوانب كلها، محافظًا على الجزء الخارجي من الشمعة باردًا. لن يوفي أيُّ وقودٍ بمتطلبات الشمعة، إذا لم يمتلك خواصَّ تكوين مثل هذه الحفرة المقعرة، فيما عدا الوقود المماثل لخشب المستنقعات الأيرلندي، إذ إنَّ المادة الخام نفسها تشبه الإسفنج، وتحتجز وقودَها. تفهمون الآن سبب حصولِكم على نتيجة سيئة، إذا كنتم تحرقون هذه الشموع الجميلة التي أريتها لكم، تلك الشموع غير المنتظمة، ذات الشكل غير المتصل، التي لا يمكنها بسبب ذلك تكوين تلك الحافة المتشكلة في بهاءٍ حول الحفرة المقعرة، والتي هي الجمال العظيم في الشمعة. أرجو أن تكونوا

قد فهمتم الآن أنَّ كمالَ الشيء يكمُن في الوظيفة وهو موضع الجمال الأفضل فيه، لا يتعلَّق الأمرُ بالمظهر الأفضل بل بأداء العمل على الوجه الأفضل، الأكثر نفعًا لنا؛ إنَّ هذه الشمعة ذات المظهر الجيد تحترق بشكلٍ سيئٍ، سوف تكون ثمَّة أخاديدُ فيها يتسرَّب منها السائلُ بسبب عدم انتظام تيار الهواء وسوء حالة الحفرة المقعرة المتكونة فيها. قد تروْن بعض الأمثلة الجميلة لعمل التيار الصاعد عندما يكون لديكم أخدودٌ صغيرٌ يفيض منه السائلُ على جانب الشمعة، تجعلها أكثر سمكًا في هذا الموضع منها في أي موضعٍ آخر (أثق في أنَّكم سوف تلاحظون هذا عند حدوثِه). عندما تواصل الشمعة الاحتراق، فإنَّ ذلك الجزء الأكثر سمكًا يحتفظ بموضعِه ويُكوّن عمودًا صغيرًا يرتفع إلى الجانب، لأنَّه مع ارتفاعه أعلى من بقية الشمع أو الوقود، يدور الهواءُ حوله بشكلٍ أفضل، ويصير أبرد وأقدر على مقاومة فعل الحرارة لمسافة أطول قليلًا. أما الآن، فإنَّ أعظم الأخطاء والخطايا فيما يتعلَّق بالشموع -وكذلك فيما يتعلَّق بالعديد من الأمور الأخرى- أن نأتي ومعنا في أغلب الأحيان شروحٌ، إذ لا ينبغي علينا أن نتلقاها إذا لم تحدث، لقد جئنا إلى هنا من أجل أن نصبح فلاسفة؛ وآمل أن تتذكروا دائمًا أنَّه عند وقوع نتيجة ما في أي وقتٍ -خاصة إذا كانت نتيجة جديدة- ينبغي عليكم أن تقولوا، «ما السبب؟ لماذا حدثت؟» وبمرور الوقت سوف تكتشفون السبب.

وهكذا، ثمَّة نقطةٌ أخرى تتعلَّق بهذه الشموع سوف تجيبُنا عن التساؤل حول الطريقة التي يخرج بها السائلُ من الحفرة المقعرة، ويصعد الفتيل، ويصل إلى مكان الاحتراق. تعرفون أنَّ شعلات اللهب في هذه الفتائل المحترقة في الشموع المصنوعة من شمع النحل أو الإستيارين أو العنبر لا تمضي إلى الأسفل نحو الشمع أو أي مادة أخرى وتذيبها حتى النهاية، بل تبقى في موضعِها الصحيح، تبدو الشعلة كأنَّما أُحيطت بسياجٍ يفصل بينها وبين السائل أسفل منها، ولا تتعدى على جدران الحفرة على الأجناب وتذيبها. لا يمكنني تصوُّر مثالًا أكثر جمالًا من أحوال الانضباط الدقيق التي تجعل كلَّ جزءٍ من الشمعة في خدمة الآخر من أجل بلوغ غاية عملها. إنَّ شيئًا قابلًا للاشتعال مثل هذا، يحترق تدريجيًّا، ولا تقتحمه الشعلة أبدًا، يُعدُّ مشهدًا جميلًا للغاية، خاصة عندما تعرفون مدى حدَّة الشعلة والقوة التي تحظى بها، تلك القوة القادرة على تدمير الشمع نفسه بمجرد أن تقبض عليه، والقادرة على إرباك شكله الأصيل إذا ما اقتربت منه كثيرًا فقط.

إلَّا أنَّه كيف تقبض الشعلة على الوقود؟ ثمَّة أمرٌ جميلٌ في هذا الخصوص، التجاذب الشَّعري.

تقول «التجاذب الشَّعري»(11) – «تجاذب الشعر»، حسنًا، لا يشغلكم الاسم: لقد أُطلِق هذا الاسم في أزمنة غابرة، قبل أن نحظى بفهمٍ جيّدٍ للطبيعة الفعلية لهذه القوة. عن طريق ما يُطلَق عليه التجاذُب الشَّعري يُحمَل الوقود إلى الموضع حيث يجري الاشتعال، ويُركّز هناك، ولا يحدث ذلك بشكلٍ فوضويٍ، لكن بصورة جميلة جدًّا، إذ يُركّز في منتصف مركز الحدث تمامًا، حيث تجري الأمور من حوله. والآن سوف أعطيكم مثالًا أو اثنين للتجاذب الشَّعري، إنَّه نوعٌ من الأحداث أو التجاذبات التي تجعل شيئيْن لا يذوب أحدُهما في الآخر، ما يزال في إمكانِ أحدهما الإمساك بالآخر. عندما تغسلون أياديكم، تبللونها بالكامل؛ تتناولون صابونة صغيرة كي تجعلوا الالتصاق أفضل، وتجدون أنَّ أيديكم تبقى مبلَّلة، يحدث هذا بفعل نوع القوى التي أُوشِك على الحديث عنها، وعلاوة على ذلك، إذا لم تكن أيديكم ملوثة (إذ إنَّها ملوثة دائمًا بسبب استعمالاتها اليومية)، ووضعتم إصبعًا من أصابعكم في القليل من الماء الدافئ، فسوف يزحف الماءُ قليلًا إلى الأعلى على طول الإصبع، إلَّا أنَّكم قد لا تتوقَّفون لتتفحصوه. لديَّ ها هنا مادة مسامية بقدرٍ ما -عمودٌ من الملح- وسوف أصبُّ في الطبق أسفل منها سائلًا -ليس ماءً كما يبدو- بل محلولٌ مِلحيٌّ مشبَّعٌ، لا يمكنه امتصاص المزيد من الملح؛ ومن ثمَّ فما ترونه، لا يعود إلى ذوبان أي شيء. قد نعتبر أنَّ الطبقَ هو الشمعة، والمِلْح هو الفتيل، وهذا السائل هو الشحم الذائب. (لقد لوَّنتُ السائل وبالتالي في إمكانكم أن تروا ما يحدث بصورة أفضل)، تلاحظون أنَّني أصبُّ السائلَ الآن، ترونه يرتفع ويزحف على المِلْح تدريجيًّا أعلى وأعلى؛ ولو لم ينهدم عمود الملح، سوف يمضي السائل حتى القمة.

(11) التجاذُب أو التنافُر الشعَّري هو السبب الذي يحدِّد صعود أو نزول سائلٍ في أنبوبة شعَّرية؛ لو فُتح جزءٌ من أنبوبة مقياس الحرارة من الجهتين كليهما ثم غُمِسَت في الماء، فإنَّ الماءَ سوف يصعد من فورِه في الأنبوبة ليصل بصورة ملحوظة إلى مستوى يعلو مستواه خارجها. من ناحية أخرى، لو غُمِست الأنبوبة في الزئبق، فسوف يظهر تنافرٌ بدلًا من التجاذُب، وسوف يكون مستوى الزئبق في الأنبوبة أدنى منه بالخارج.

شكل رقم (1)

لو كان هذا السائل قابلًا للاشتعال، ولو كنَّا قد وضعنا فتيلًا أعلى الملح، كان ليحترق عندما يدخل إلى الفتيل. إنَّ رؤية شيء مثل هذا وهو يحدث وملاحظة مدى تفرُّد بعض وقائعه يُعدُّ من أكثر الأمور المثيرة للإعجاب. عندما تغسلون أيديكم، تتناولون منشفة لتجفف الماء؛ وبالطريقة نفسها التي تصبح بها المنشفة مبللة بالماء، نجعل الفتيل مبللًا بالشحم. لقد عرفتُ بعضَ الأولاد والبنات المهملين الذين يغسلون أيديهم ويجففونها بمنشفة ثم يلقون بالمنشفة فوق جانب حوض الماء، وقبل مرور الكثير من الوقت تسحب المنشفة كلَّ الماء الموجود بالحوض وتنقله إلى الأرض، لأنه صادف وأُلقي بها على جانب حوض الماء، كي تعمل وكأنها مزراب(12). هكذا ربما يكون من الأفضل أن تنظروا إلى الطريقة التي تعمل بها المواد الواحدة على الأخرى.

(12) نعتقد أنَّ دوق ساسكس كان أوَّل من أوضح لنا أنَّ الجمبري قد يُغسل وَفْق هذا المبدأ؛ إذا وُضِع الذيل -بعد نزع الجزء المروحي- في إناءٍ يحتوي على الماء، وكانت الرأس تتدلَّى إلى الخارج، فإنَّ الماءَ يُشفَط عبر الذيل عن طريق التجاذب الشَّعري، ويواصل الجريان خروجًا عبر الرأس، إلى أن ينحسر الماء إلى مستوى متدنٍ للغاية بحيث لا يعود الذيل مغموسًا فيه.

لديَّ هنا وعاءٌ مصنوعٌ من شبكة من السلك مملوءٌ بالماء، وربما يشبه من حيث الطريقة التي يعمل بها القطن من ناحية، أو قطعة بفتة (قماش قطني) من ناحية أخرى. في الحقيقة، تُصنع الفتائل أحيانًا من نوعٍ من الشِّباك السلكية. سوف تلاحظون أنَّ هذا الوعاء مليءٌ بالمسام؛ وبذلك لو صببتُ القليلَ من الماء عند القمة سوف يتسرَّب عند القعر. سوف يلتبس عليكم الأمرُ لفترة ليست بالضئيلة، لو سألتكم عن أمر هذا الوعاء، ما الذي في داخله؟ ولماذا يوجد هناك؟ الوعاء مملوءٌ بالماء، ومع ذلك تروْن الماءَ يدخل فيه ويتسرَّب منه كما لو كان فارغًا. من أجل أن أثبت ذلك لكم، ليس عليَّ سوى تفريغِه. السبب وراء هذا، أنَّ السلكَ بمجرد أن يبتلَّ، يبقى مبتلًّا، الوشائج صغيرة للغاية، بحيث يتجاذب السائل بقوة بين الناحيتين، وهكذا يبقى في الوعاء بالرغم من أنه مملوءٌ بالمسام. وبطريقة مماثلة، تصعد جزيئات الشحم المُذاب على القطن وتصل إلى القمة؛ تتبعها من ثَمَّ الجزيئات الأخرى عن طريق التجاذب المتبادل بين بعضها، وعند وصولها إلى الشعلة، تحترق تدريجيًّا.

ها هنا تطبيقٌ آخر للمبدأ نفسِه، تروْن قطعة البوص هذه، (لقد رأيتُ أولادًا في الشوارع متلهفين بشدة على الظهور في مظهر الرجال، يتناولون قطعة من البوص، ويشعلونها، في

محاكاة للسيجار، تُمكِّنهم من القيام بذلك نفاذية البوص في اتجاه واحدٍ وشعريته)، إذا وضعتُ قطعة البوص هذه في طبقٍ يحتوي على بعض الكامفين (الذي يشبه البرافين بدرجة كبيرة من حيث خواصه العامة)، سوف يصعد هذا السائلُ خلال قطعة البوص مثلما صعد السائلُ الأزرق عبر الملح وبالطريقة نفسِها تمامًا، ولأنه لا توجد مسامٌّ على الجانب، لا يمكن للسائل أن يمضي في ذلك الاتجاه، بل عليه أن يمرَّ على طول البوصة. صار السائل على قمة البوصة بالفعل: الآن يمكنني إشعالُها وجعلُها تعمل كشمعة. صعد السائل عن طريق التجاذب الشَّعري لقطعة البوص، مثلما يفعل تمامًا خلال القطن في الشمعة.

والآن، فإنَّ السببَ الوحيد الذي يقف وراء عدم احتراق الشمعة بالكامل على طول الفتيل إلى الأسفل، أنَّ الدهنَ المنصهر يُخمِد شُعلة اللهب؛ تعرفون أنَّ الشمعة لو قُلِبت رأسًا على عقب -بحيث تسمح للوقود أن يسيل على الفتيل- سوف تنطفئ، والسبب أنَّ شعلة اللهب لم تحظَ بالوقت الكافي كي تجعل الوقود ساخنًا بدرجة كافية ليحترق، كما كان قد حدث في السابق، حيث كان يُحمَل في كمياتٍ صغيرة إلى الفتيل، ويتأثَّر تمامًا بالحرارة المبذولة عليه.

ثمَّة أمرٌ آخر عليكم أن تعرفوه فيما يخصُّ الشمعة، من دونِه لن تكونوا قادرين على فَهْم فلسفتِها بالكامل، ألا وهو الحالة البخارية (الغازية) للوقود، ولكي تفهموا ذلك دعوني أُريكم تجربة بديعة للغاية لكنها دارجة جدًّا كذلك. إذا أطفأتُ شمعةً عن طريق النفخ بمهارة، سوف تروْن البخارَ يتصاعد منها. أعرف أنَّكم غالبًا ما تشمُّون بخارَ الشمعة التي انطفأت عن طريق النفخ فيها، وقد كانت رائحتُه سيئة جدًّا؛ إلَّا أنَّكم إذا أطفأتم الشمعة عن طريق النفخ فيها بمهارة، سوف يكون في مقدورِكم أن تروْا بصورة جيدة البخارَ الذي تتحوَّل إليه هذه المادة الصلبة. سوف أطفئ واحدة من هذه الشموع عن طريق النفخ فيها بطريقة لا تُشوِّش على الهواء من حولِها، وذلك عن طريق زفرة متصلة؛ والآن إذا أمسكتُ بعصا إشعالٍ على بُعد بوصتيْن أو ثلاث من الفتيل، سوف تلاحظون قطارًا من النيران يمضي عبر الهواء حتى يصل إلى الشمعة. أنا مجبرٌ على أن أكون سريعًا وعلى أُهبة الاستعداد، إذ إنَّني لو تأخرتُ وسمحتُ للبخار أن يبرد، سوف يتكثَّف ويتحوَّل إلى سائلٍ أو صلبٍ أو سوف يتشوَّش تيارُ المادة القابلة للاشتعال.

والآن، نأتي إلى شكل وهيئة شعلة اللهب. لقد اهتممنا كثيرًا بمعرفة الحالة التي تتَّخذها مادة الشمعة في النهاية عند قمة الفتيل، حيث تحصل على مثل هذا البهاء واللمعان الذي لا يعدو كونه

نتيجةً للاحتراق أو لشعلة اللهب.

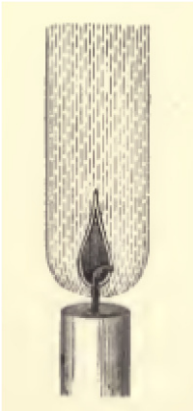
شكل رقم (2)

لديكم الجمال البراق للذهب والفضة، ولمعان الجواهر مثل الياقوت واللؤلؤ؛ غير أنَّه لا شيء من هذا ينافس ألق وجمال شعلة اللهب. أي لؤلؤ يمكنه أن يشع مثل شعلة اللهب؟ إنَّه يدين بلمعانِه ليلًا إلى شعلة اللهب التي تبثُّ إشعاعَها عليه. تشعُّ الشعلة في الظلام، لكن الوَهَجَ الذي يحظى به اللؤلؤ هو والعدم سواء حتى تلُقي شعلة اللهب بإشعاعِها عليه، عندها يبرُق من جديدٍ. تشعُّ الشمعة وحدَها بنفسِها ولأجل نفسِها أو لأجل أولئك الذين أعدُّوا المواد الخام. والآن دعونا ننظر قليلًا في شأن هيئة الشعلة كما ترونْها تحت الحائل الزجاجي؟ إنَّها ثابتة ومتساوية، وهيئتها العامة هي تلك الماثلة في الرسم، تختلف باختلاف الاضطرابات المحيطة، كما تختلف باختلاف أحجام الشموع، إنَّها لامعة مستطيلة –ألمع عند القمة مقارنة بالقاع– وفي منتصفِها الفتيل، بجوار الفتيل في المنتصف مناطق معينة أكثر إعتامًا، حيث الاشتعال ليس بالكفاءة نفسِها التي هو عليها في الأجزاء الأعلى.

شكل رقم (3)

لديَّ رسمٌ هنا، رسمَه هوكر منذ سنواتٍ عديدة مضتْ، عندما قام بأبحاثِه، إنَّه رسمٌ لشعلة القنديل، لكنَّه سوف ينطبق على شعلة الشمعة. إنَّ حفرة الشمعة المقعرة هي الوعاء أو القنديل، العنبر المنصهر هو الزيت، والفتيل مشترك بين الاثنين. أقام شعلته الصغيرة على هذا النحو، ثم

استعرض ما هو أصيل، تلك المادة الموجودة من حولها، لا تروْنها، وإذا لم تكن قد حضرت معنا من قبل أو لم تكن على ألفة بالموضوع، فلن تعرف عنها. لقد استعرض هنا الأجزاء المحيطة والضرورية للغاية بالنسبة إلى شعلة اللهب، والموجودة دائمًا معها. ثمَّة تيارٌ يتكوَّن، يسحب الشعلة إلى الخارج –فالشعلة التي ترونها مسحوبة بالفعل إلى الخارج بواسطة ذلك التيار، كما أنَّها مسحوبة إلى الأعلى لارتفاعٍ عظيمٍ– تمامًا مثلما أوضح هوكر هنا عن طريق مدِّه للتيار في الرسم. قد ترون هذا لو تناولتم شمعة مشتعلة ووضعتموها في الشمس بحيث تحصلون على ظلِّها وقد سقط على قطعة من الورق. يا له من أمرٍ جدير بالملاحظة أنَّ ذلك الشيء المتوهج بالقدر الكافي لاستخراج ظلال العناصر الأخرى، من الممكن أن نجعله يلقي بظلِّه هو نفسِه على ورقة بيضاء أو بطاقة، وبذلك تستطيعون أن تروا شيئًا يسري بالفعل حول الشعلة، وليس جزءًا من الشعلة، إلَّا أنَّه يتدفَّق صاعدًا ويسحب الشعلة نحو الأعلى. الآن، سوف أحاكي ضوء الشمس بوضع البطارية الفلطائية في المصباح الكهربائي. والآن ترون شمسنا وإضاءتها العظيمة؛ وعند وضع شمعة بينها وبين الشاشة، نحصل على ظلِّ الشعلة.

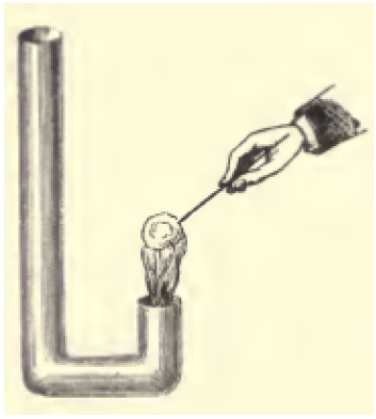


شكل رقم (4)

تلاحظون ظلَّ الشمعة والفتيل؛ ثم هنالك جزءٌ معتمٌ، كما هو موضحٌ في الرسم، وجزءٌ آخر أكثر وضوحًا. إنَّها صورة كافية لإثارة التعجُّب، مع ذلك فإنَّ ما نراه في الظلِّ باعتباره الجزء الأكثر إعتامًا من الشعلة هو في الحقيقة الجزء الأكثر توهُّجًا؛ وهنا ترون تيارَ الهواء الساخن المتدفِّق صعودًا إلى الأعلى، كما بيَّنه هوكر، ذلك التيار الذي يسحب الشعلة للخارج، ويمدُّها بالهواء ويبرد جوانب حفرة الوقود المنصهر المقعرة.

يمكنني هنا أن أقدِّم لكم عرضًا توضيحيًّا إضافيًّا من أجل أن أبيِّن لكم كيف تمضي الشعلة صاعدة أو هابطة، بحسب التيار. لديَّ شعلةٌ هنا -ليست شعلة شمعة- لكن في إمكانكم بلا شكٍّ الآن التعميم بالقدر الذي يجعلكم قادرين على تشبيه شيء ما بالآخر. ما أوشك على القيام به هو تغيير التيار الصاعد الذي يأخذ الشعلة إلى الأعلى، إلى تيارٍ هابطٍ. يمكنني القيامُ بذلك بسهولة باستخدام الجهاز الصغير الذي ترونه أمامي. سبق وقلتُ إنَّ الشعلة ليست شعلة شمعة، لكنَّها ناتجة عن الكحول، ولذلك فهي لن تُصدِر الكثيرَ من الدخان. سوف أقوم كذلك بتلوين الشعلة بمادة أخرى(13)، وبالتالي قد تتبعون مسارها، إذ إنَّه في حالة السائل المتطاير وحده لا تكادون تستطيعون الرؤية بصورة جيدة كفاية كي تمتلكوا فرصة تعقُّب مسارها. عند إشعالكم السائل المتطاير، يصير لدينا شعلة إذن، وتلاحظون أنَّنا عندما نمسك بها في الهواء تتجه بشكلٍ طبيعيٍّ نحو الأعلى. تفهمون بسهولة كافية الآن السببَ وراء ارتفاع الشعلة إلى أعلى في الظروف العادية، يرجع ذلك إلى سحب الهواء الذي يحدث الاشتعال عن طريقه. إلَّا أنَّه عند نفخ الهواء إلى الأسفل تجاه الشعلة، تجدون أنَّني صرتُ قادرًا على جعل الشعلة تمضي نحو الأسفل إلى داخل المدخنة الصغيرة، وقد تغيَّر اتجاه التيار. قبل أن ننتهي من منهج المحاضرات هذا، سوف نريكم قنديلًا تذهب فيه الشعلة إلى الأعلى والدخان إلى الأسفل، أو تذهب الشعلة إلى الأسفل والدخان إلى الأعلى؛ هكذا ترون أنَّنا نمتلك بهذه الطريقة القدرة على توجيه الشعلة في مختلف الاتجاهات.

(13) يُذاب كلوريد النحاس في الكحول؛ ما يُنتِج شعلة خضراء جميلة.



شكل رقم (5)

أما الآن فثمَّة بعضُ النقاط الأخرى التي يجب أن أطرحها أمامكم؛ تختلف الكثيرُ من الشعلات التي ترونها هنا بشكلٍ كبيرٍ من حيث شكلها بسبب تيارات الهواء التي تهبُّ من حولِها في

مختلف الاتجاهات، إلَّا أنَّه في استطاعتِنا إذا أحببنا تأجيجَ شعلات بحيث تبدو ثابتة، ويمكننا التقاط صورٍ فوتوغرافية لها (وبذلك تصبح ثابتة بالنسبة لنا) إذا رغبنا في اكتشاف كل ما يتعلَّق بها. غير أنَّ هذا ليس الشيء الوحيد الذي تنتابني الرغبة في ذكره. إذا ما تناولتُ أمرَ شعلة كبيرة بالقدر الكافي، فإنَّها لا تحتفظ بذلك التجانس وحالة الاتساق الشكلي تلك، لكنها تضطرم بطاقة الحياة الرائعة تمامًا. إنَّني على وشك استخدام نوعٍ آخر من الوقود، لكنَّه نوعٌ يُعَدُّ ممثِّلًا جيدًا وفعليًّا لشمعٍ أو شحم الشمعة. لدي هنا كرةٌ كبيرة من القطن، سوف تعمل باعتبارها فتيلًا، والآن إذا غمستها في السائل المتطاير، وعرضتها إلى لهبٍ، فمن أي وجهٍ تختلف عن الشمعة العادية؟ ما السبب الذي يقف وراء اختلافها الكبير في إحدى النواحي، نمتلئ بالحماس والطاقة كي نسبر غوره، إذ ثمَّة جمالٌ وحياةٌ يختلفان تمامًا عن ذلك الضوء الذي تقدِّمه الشمعة. لعلَّكم تروْن ألسنة اللهب الناعمة المتصاعدة تلك، تروْن النزعة العامة نفسها لكتلة اللهب، إذ تتصاعد من أسفل إلى أعلى؛ لكنها بالإضافة إلى ذلك، تتدفَّق في صورة ألسنة، وهو الأمر الذي لا تروْنه مع الشمعة وهو جديرٌ بالملاحظة. والآن، لماذا يحدث هذا؟ يجب عليّ تفسير ذلك لكم، لأنَّكم حين تفهمون ذلك بشكلٍ كاملٍ، سوف تصبحون قادرين على متابعتي بصورة أفضل فيما عليَّ قوله بعد ذلك. أفترض أنَّ بعضَكم هنا سوف يقوم بنفسِه بتنفيذ التجربة التي أوشك أن أريها لكم. هل أنا على صواب في افتراض أنَّ أيًّا منكم هنا قد لعب سناب دراجون(14)؟ لا أعرف مثالًا توضيحيًّا لفلسفة الشعلة -فيما يتعلَّق بجزءٍ معينٍ من تاريخها- أجمل من لعبة سناب دراجون. أولًا: لدينا هنا صحنٌ مُدفَّأ جيدًا، (تستطيعون كذلك أن تجلِبوا برقوقًا دافئًا وبراندي، إلَّا أنَّه ليس لدي منه الآن)، عندما تضعون السائلَ المتطاير في الصحن، صار لديكم الحفرة المقعرة والوقود؛ وألا يعمل الزبيب كفتائل؟ ألقي الآن بالبرقوق في الصحن، وأُشعِل السائل المتطاير، تروْن ألسنة اللهب الجميلة تلك التي أستدلُّ بها، يزحف الهواء من أعلى حافة الصحن مشكِّلًا هذه الألسنة. لماذا؟ لأنَّه لا يستطيع أن يسري في مجرى واحدٍ متسقٍ خلال قوى التيار واضطرابات عمل الشعلة. يسري الهواء إلى الداخل في غير انتظامٍ أبدًا، وبذلك تروْن الصورة المفردة في أي حالٍ أخرى وقد تفتَّتت إلى عدة أشكالٍ ولكلِّ لسانٍ من هذه الألسنة الصغيرة وجودٌ مستقلٌّ قائمٌ بذاته. في الحقيقة، قد أقول إنَّ لديكم هنا العديدَ من الشموع المستقلة، لا يجب عليكم أن تتصوروا أنَّ للشعلة هذا الشكل المحدد، لأنَّكم تروْن هذه الألسنة جميعها في الوقت عينِه. لا تكون الشعلة التي

لها هذا الشكل على هذه الصورة في أي وقتٍ من الأوقات، لا تكون لبنية الشعلة -مثل تلك التي رأيتموها للتوّ- الشكل الذي تظهر به لكم أبدًا، تتكوَّن من العديد من الأشكال المختلفة، تتبع بعضُها بعضًا في سرعة شديدة، بحيث لا تستطيع العين إلَّا أن تلمَّ بها جميعًا مرة واحدة. في المرات السابقة، حللت متعمدًا شعلة لها هذه الصفة العامة، ويُظهِر لكم الرسمُ الأجزاءَ المختلفة التي تتكوَّن منها، لا تحدث جميعُها في الوقت نفسِه لأننا نرى هذه الأشكال في تتابُعٍ سريعٍ، يُخيَّل إلينا فقط أنَّها توجد جميعًا في وقتٍ واحدٍ.

(14) لعبة شعبية تعود بداياتها إلى القرن السادس عشر، وتُلعَب عادة في الشتاء، خاصة في ليلة رأس السنة، حيث يوضع البراندي أو أي مشروبٍ كحولي آخر في وعاءٍ مسطَّح ويُلقى فيه الزبيب والثمار الأخرى وتقلَّل الإضاءة، يُشعل البراندي وتتصاعد ألسنة اللهب وعند ذلك تنعكس الأضواء على الوجوه التي تبدو في ظلِّ هذه الإضاءة كأنَّها وجوه أشباحٍ ويبدأ اللهو وخطف الزبيب من البراندي الملتهب. (المترجم)

شكل رقم (6)

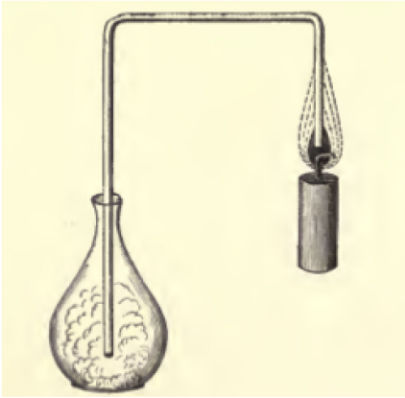
من السيئ أنَّنا لم نمضِ أبعد من لعبة سناب دراجون؛ غير أنَّه لا يجب علينا تحت أي ظرفٍ تأخيرُكم عن جدولِكم الزمني. سوف يكون هذا بمثابة درسٍ لي في المستقبل، أن أستبقيكم بصورة أكبر مع فلسفة الأمر، بدلًا من أن أستهلكَ وقتَكم بشكلٍ كبيرٍ في هذه العروض التوضيحية.

المحاضرة الثانية

ـالشمعة: لمعان الشعلة ــ الهواء ضروريٌّ للاحتراق

تَكوُّن الماء

انشغلنا في لقائنا السابق بتأمُّل الصفة العامة والنسق العام للجزء السائل من الشمعة، والطريقة التي يصلُ بها ذلك السائلُ إلى موضع الاحتراق. ترون أنَّه عندما تكوَّنت لدينا شمعةٌ تحترق بكفاءة بشكلٍ منتظمٍ ولدينا محيطٌ مستقرٌّ، فإنَّه سوف يكون لها شكلٌ يشبه ذلك الشكل الظاهر في الرسم، وسوف تبدو متَّسِقة في جمالٍ، رغم أنَّها عجيبة للغاية في خواصها. والآن، عليَّ أن أطلبَ منكم أن تنتبهوا للأدوات التي نستطيع بواسطتِها التحقُّق مما يحدث في أي جزءٍ مُحدَّد من الشعلة ــ لماذا يحدث؟ ما يجري في أثناء الحدث؟ وأين تذهب هذه الشمعة بكاملِها في النهاية؟ لأنَّ الشمعة التي نجلبها أمامنا ونحرقها تختفي -كما تعرفون- وذلك دون أن تتركَ أدنى أثرٍ لاتساخٍ في الشمعدان لو أنَّها حُرِقت بشكلٍ سليمٍ ــ وهو حدثٌ مثيرٌ للعجب بشدة. من ثمَّ فقد أعددتُ جهازًا خاصًّا من أجل فحص هذه الشمعة بعناية، وسوف ترون استخدامه مع مضيي قدمًا. ها هنا شمعةٌ، وأنا على وشك وضع نهاية هذه الأنبوبة الزجاجية في منتصف الشعلة ــ في ذلك الجزء الذي صوَّره هوكر المخضرم في رسمِه أكثر إعتامًا إلى حدٍّ ما، وبإمكانكم أن تروه في أي وقتٍ إذا نظرتم إلى الشمعة في إمعانٍ، من دون أن تنفخوا فيها، سوف نفحص هذا الجزءَ المعتم أولًا.



شكل رقم (7)

والآن، أتناول هذه الأنبوبة الزجاجية المحنيَّة، وأُدخل إحدى نهايتيها في ذلك الجزء من الشعلة، ومن فوركم ترون أنَّ شيئًا ما يأتي من اللهب ويخرج من النهاية الأخرى للأنبوبة؛ وإذا وضعتُ دورقًا هناك، وتركته لبعض الوقت، سوف ترون أنَّ شيئًا ما من الجزء الأوسط للشعلة يُسحَب تدريجيًّا ويمضي عبر الأنبوبة إلى داخل ذلك الدورق، ويتصرَّف هناك بشكلٍ مختلفٍ جدًّا عمَّا فعل في الهواء المفتوح. إنَّه لا يهرب من نهاية الأنبوبة فقط، لكنَّه يهبط إلى قعر الدورق أيضًا، مثل مادة ثقيلة، إذ إنَّه بالفعل كذلك. نجد أنَّ هذا هو شمع الشمعة وقد تحوَّل إلى بخارٍ – لا غاز. (عليكم أن تتعلَّموا الفارقَ بين الغاز والبخار: الغاز يبقى دائمًا على هذه الصورة، أمَّا البخار فسوف يتكثَّف). إذا نفختم في شمعة لتطفؤوها سوف تشمُّون رائحة كريهة جدًّا ناتجة عن تكثُّف هذا البخار. يختلف ذلك جدًّا عمَّا تحصلون عليه خارج الشعلة! ومن أجل أن أجعلَ الأمرَ أوضح أوشك على توليد كمية كبيرة من البخار وإشعال النار فيها؛ إذ إنَّه يجب علينا كفلاسفة توليد ما كنَّا حصلنا عليه على نطاقٍ صغيرٍ في الشمعة على نطاقٍ أكبر، وذلك من أجل الإحاطة به وفهمه. والآن سوف يمدُّني السيد أندرسون بمصدرٍ للحرارة، والآن أنا على وشك أن أريكم ماهية هذا البخار، ها هنا بعضُ الشمع في دورقٍ زجاجي، وأنا على وشك تسخينه في مثل سخونة جوف شعلة الشمعة، وسخونة المادة من حول الفتيل. (وَضَعَ المُحاضِر بعضَ الشمع في الدورق الزجاجي، وسخَّنه فوق موقدٍ)، والآن أجرؤ على أن أقول إنَّه ساخنٌ كفاية بالنسبة لي. ترون أنَّ الشمعَ الذي وضعته فيه أصبح سائلًا، وثمَّة قليلٌ من الدخان يأتي منه. سوف نحصل على البخار المتصاعد قريبًا للغاية، سوف أسخِّنه أكثر ، والآن نحصل على المزيد منه، وبذلك يمكنني بالفعل سَكْبُ البخار من الدورق في ذلك الحوض، وأشعل فيه النار هناك. إذن فهذا هو البخار نفسه الذي نجده في منتصف الشمعة؛ وبذلك يمكنكم التأكُّد من أنَّ هذه هي حقيقة الحال. دعونا نجرِّب إذا كنَّا قد حصلنا هنا -في هذا الدورق- على بخارٍ قابلٍ للاشتعال حقيقي آتٍ من منتصف الشمعة. (يتناول الدورق الذي فيه الأنبوبة الآتية من الشمعة، ويضع فيه عصا إشعالٍ) انظروا كيف يحترق. الآن، فإنَّ هذا هو البخار من منتصف الشمعة، الناتج عن حرارتِها هي نفسها؛ إنَّه أحد أول الأشياء التي عليكم تأمُّلها فيما يتعلَّق برحلة الشمع على مسار احتراقه، وفيما يتعلَّق بالتغيُّرات التي تطرأ عليه. سوف أضع أنبوبة أخرى بحرصٍ في الشعلة، ولا ينبغي أن يصيبني العجبُ إذا وجدتُ أنَّ في استطاعتنا مع قليلٍ من الاعتناء تمريرَ هذا البخار عبر الأنبوبة إلى

طرفِها الآخر، حيث سنقوم بإشعاله، ونحصل بلا شكٍّ على شعلة الشمعة في مكانٍ بعيدٍ عنها. الآن، انظروا إلى ذلك، أليست تجربة جميلة جدًّا؟ تتحدَّثون عن الإمداد بالغاز – لماذا؟ يمكننا بالفعل الإمداد بالشمعة! وتروْن من هذا أنَّ ثمَّة نوعين من العمليات، تختلفان بشكلٍ واضحٍ – إحداهما توليد البخار، والأخرى حرقه– تحدث كلٌّ منهما في مكانٍ محددٍ من الشمعة.

شكل رقم (8)

لن أحصلَ على أي بخارٍ من الجزء الذي احترق بالفعل. إذا رفعت الأنبوبة (شكل رقم ٧) إلى الجزء العلوي من الشعلة، قريبًا جدًّا من الجزء الذي يُجرَف منه البخار، فإنَّ ما يخرج لا يعود قابلًا للاشتعال؛ لقد احترق من قبل بالفعل، كيف احترق؟ لماذا احترق هكذا؟ في منتصف الشعلة حيث يوجد الفتيل، نجد هذا البخارَ القابل للاشتعال؛ يوجد خارج الشعلة الهواء، الذي سوف نكتشف أنه ضروريٌّ من أجل احتراق الشمعة، يحدث التفاعل الكيميائي القوي بين الاثنين، حيثما يعمل الهواء والوقود أحدهما على الآخر، ويتدمَّر البخار بالداخل في اللحظة عينها تمامًا التي نحصل فيها على الضوء.

إذا بحثتم عن المكان الذي توجد فيه الحرارة، سوف تجدون أنَّها تنتظم بشكلٍ يدعو للعجب. افترضوا أنَّني جئتُ بهذه الشمعة، وأمسكتُ بقطعة من الورق بالقرب من الشعلة، فأين توجد حرارة هذه الشعلة؟ ألا تروْن أنَّها ليست في الداخل؟ بل توجد في حلقة، في المكان الذي أخبرتكم أنَّ التفاعلَ الكيميائي وقع فيه؛ وحتى في تجربتي التي لا تجري بشكلٍ نظاميٍّ كاملٍ، إذا لم يكن هناك الكثيرُ من الاضطراب، فسوف تكون هناك حلقةٌ دائمًا. إنَّها تجربةٌ جيدةٌ بالنسبة لكم كي تجروها في البيت؛ خذوا قصاصة ورقية، على أن يكون الهواءُ في الحجرة هادئًا، وضِعُوا القصاصة الورقية عبر منتصف الشعلة تمامًا (لا يجب أن أتكلَّم وأنا أقوم بالتجربة)، سوف

تجدون أنَّها تحترق في موضعيْن، بينما لا تحترق في المنتصف، أو تحترق بقدرٍ ضئيلٍ للغاية؛ وبعدما تجرون هذه التجربة مرة أو مرتين حتى تتمكنوا من إجرائها بشكلٍ جيدٍ سوف تتملَّككم الإثارة كي تروْا أين هي الحرارة، إذ تجدونها حيث يلتقي الهواء والوقود معًا.

إنَّ ذلك مهمٌّ جدًّا بالنسبة لنا ونحن نمضي قدمًا في موضوعنا، مما لا شكَّ فيه أنَّ الهواءَ ضروريٌّ من أجل الاحتراق، وعلاوة على ذلك، عليكم أن تدركوا أنَّ الهواءَ الطلق هو الضروري، وإلَّا فثمَّة عيبٌ يكتنف استدلالنا وتجاربنا. ها هنا برطمان هواء، أضعه فوق شمعة، نلاحظ احتراقها وهي فيه بشكلٍ جيدٍ جدًّا في البداية، وهو ما يوضِّح أنَّ ما قلته كان صحيحًا؛ لكنَّنا سرعان ما نجد تغيُّرًا؛ انظروا كيف تنسحب الشعلة إلى الأعلى، تخبو حاليًّا، وفي النهاية تتلاشى. لماذا تتلاشى؟ ليس لمجرد احتياجِها للهواء؛ إذ إنَّ البرطمان لا يزال ممتلئًا به مثلما كان في السابق؛ لكنَّها تصبو إلى هواءٍ طلقٍ نقيٍّ. لقد تغيَّر الهواء الذي يمتلئ به البرطمان جزئيًّا، ولم يتغيَّر جزئيًّا؛ لكنَّه لا يحتوي على هواءٍ طلقٍ كافٍ ولازم لاحتراق الشمعة. هذه هي النقاط كلها التي علينا الإلمام بها ككيميائيين صغارٍ في السنِّ؛ وإذا ما تأمَّلنا أكثر قليلًا في هذا النوع من التفاعلات سوف نجد خطواتٍ معينة من الاستدلال، مثيرة للغاية، على سبيل المثال: ها هنا قنديل الزيت الذي أريته لكم -قنديلٌ مثاليٌّ للغاية من أجل تجارِبنا- قنديل أرجاند(15)، أجعله الآن مثل الشمعة (وذلك عن طريق منع مرور الهواء في مركز الشعلة)؛ ها هو القطن، وها هو الزيت الذي يصعد عبره، وها هي الشعلة المخروطية. يحدث الاحتراق بصورة رديئة، لأنَّ ثمَّة إعاقةً جزئيةً للهواء؛ لم أسمح للهواء بالوصول إلى الشعلة، إلَّا من الخارج، ولم يحدث الاحتراق بصورة جيدة. لا يمكنني إدخالُ المزيد من الهواء من الخارج، لأنَّ الفتيل كبيرٌ، لكنَّني لو فعلتُ مثلما فعل أرجاند في مهارة شديدة، وفتحتُ ممرًّا للهواء إلى منتصف الشعلة، ومن ثمَّ سمحتُ للهواء بالدخول إلى هناك، فسوف ترون كيف تحترق بشكلٍ أكثر جمالًا بكثيرٍ. أمَّا إذا منعتُ الهواء، انظر كيف تدخن؛ ولماذا؟ لدينا هنا الآن بعضُ النقاط المثيرة لنتدارسها: لدينا قضية احتراق الشمعة، ولدينا قضية انطفاء الشمعة بسبب احتياجها للهواء، ولدينا الآن قضية الاحتراق غير الكامل، وهو أمرٌ مثيرٌ جدًّا بالنسبة لنا، لذلك أريدكم أن تفهموه تمامًا كما تفهمون موضوع احتراق الشمعة على أفضل وجه ممكنٍ لها.

(15) قنديل أرجاند: قنديل ابتكره آمي أرجاند عام ١٧٨٠، وهو عبارة عن قنديلٍ له فتيلٌ عبارة عن حلقة من القماش، وبالتالي يمكن للهواء أن يصله من الداخل ومن الخارج، تُحاط شعلة هذا القنديل بغطاءٍ زجاجيٍّ أسطواني الشكل من أجل الحفاظ على

.ثبات الشعلة. (المترجم)

الآن سوف أشعل شعلةً عظيمةً، لأنَّنا بحاجة إلى أكبر نموذجٍ توضيحيٍ ممكن. ها هنا فتيلٌ كبيرٌ (ناتجٌ عن حرق التربنتين(16) على كرة كبيرة من القطن). إنَّ هذه الأشياء كلَّها مثلها مثل الشموع في النهاية. إذا كان لدينا فتائل أكبر، يجب أن يكون لدينا إمدادٌ أكبر بالهواء، وإلَّا سيكون الاشتعال أقلَّ اكتمالًا. انظروا الآن إلى تلك المادة السوداء المتصاعدة في المحيط؛ ثمَّة تيارٌ منتظمٌ منها. لقد وفرتُ وسائلَ لحمل الجزء غير المحترق بشكلٍ كاملٍ بعيدًا، كي لا يضايق أحدكم. انظروا إلى السخام الأسود المتطاير من الشعلة، انظروا إلى أي مدى هذا الاشتعال غير كاملٍ لأنَّه لا يستطيع الحصولَ على الهواء الكافي. ما الذي يحدث إذن؟ لماذا تغيب أشياءٌ معينة لازمة من أجل اشتعال الشمعة، ويؤدي غيابُها إلى نتائجَ سيئة وَفْق ذلك، لكنَّنا نرى ما يحدث للشمعة عندما تُحرَق في هواءٍ مناسبٍ ونقيٍ. في الوقت الذي بيَّنتُ لكم هذا التفحُّم بجوار حلقة اللهب على أحد جوانب الورقة، ربما كنتُ لأبيِّن لكم كذلك بالتحوُّل إلى الجهة الأخرى أنَّ احتراق الشمعة ينتج السخام نفسه/الفحم أو الكربون.

16) التربنتين: زيتٌ سريع الاشتعال، يُستخلَص من أشجار الصنوبر. (المترجم).

إلَّا أنَّه قبل أن أُوضح ذلك، دعوني أشرح لكم أنَّه يجب أن نرى ما إذا كان الاشتعال دائمًا في صورة شعلة أم أنَّ ثمة صورًا أخرى للالتهاب؛ إذ إنَّ هذا الشرح ضروريٌّ للغاية لهدفِنا، وذلك على الرغم من أنني قد جئتُ بشمعة، وأشرتُ إلى اشتعالِها في صورة شعلة باعتباره النتيجة العامة للاشتعال، وسوف نكتشف قريبًا أنَّ ثمَّة أحوالًا أخرى، وأنَّها شديدة الأهمية بالنسبة إلينا. ربما أظنُّ أنَّ الإيضاح الأمثل لهذه النقطة لنا كناشئة بعرض نتيجة شيءٍ مقابل على درجة كبيرة من الاختلاف، ها هنا قليلٌ من البارود؛ تعرفون أنَّ البارود يحترق مصحوبًا بشعلة (من المقبول أن ندعوها شعلة). وهو يحتوي على كربون ومواد أخرى، تتسبَّب جميعها في جعله يحترق مصحوبًا بشعلة. وها هنا بعض برادة الحديد. والآن أنوي حرقَ البارود والحديد معًا. لدي هاوُن صغيرٌ سوف أمزجهما فيه. (قبل المضي قدمًا في هذه التجارِب، دعوني أرجو ألَّا يصيب أيٌّ منكم نفسَه بأي سوءٍ إذا حاول تكرارها، إذ إنَّه من الممكن استخدام هذه الأشياء كلها بشكلٍ مناسبٍ جدًّا، إذا كنتم حريصين، ومن دون ذلك الحرص قد يحدث الكثيرُ من الضرر. حسنًا، ها هنا القليل من البارود، أضعه في قعر ذلك الوعاء الخشبي الصغير، وأمزجه ببرادة الحديد، لأجعل البارودَ يُشعِل النارَ في البرادة ويحرقها في الهواء، وبذلك أوضِّح الفارق بين المواد التي تحترق

مصحوبة بشعلة وتلك التي تحترق بلا شعلة. ها هنا المزيج، عندما أوْجج النارَ فيه، عليكم أن تنظروا إلى الاشتعال، وسوف ترَوْن أنَّه نوعان. سوف ترَوْن البارود يحترق مصحوبًا بشعلة، والبرادة تنقذف إلى الأعلى، سوف ترَوْنها تحترق كذلك، لكن من دون إحداث شعلة. كل منها سوف تحترق منفردة. (من ثَمَّ أوقدَ المحاضرُ المزيجَ) ها هنا البارود يحترق مصحوبًا بشعلة؛ بينما البرادة تحترق وَفْق نوعٍ مختلفٍ من الاشتعال. إذن ها أنتم ترَوْن هذا التبايُن العظيم؛ يقوم على هذه الفوارق كلُّ جمالٍ وفائدة الشعلة التي نستخدمها من أجل الإمداد بالضوء؛ عندما نستخدم الزيت أو الغاز أو الشمعة من أجل الإضاءة، فإنَّ كفاءتها تعتمد بالكامل على هذا الاختلاف في نوع الاشتعال.

نجد مثل هاتين الصورتين المثيرتين للالتهاب تتطلبان بعض المهارة والدقة من أجل التمييز والتفريق بين نوعي الاشتعال. فعلى سبيل المثال، ها هنا مسحوقٌ قابلٌ للاشتعال بشدة، يتكوَّن -كما ترَوْن- من جزيئاتٍ صغيرة منفصلة، تُسمَّى رجل الذئب(17)، وكلٌّ من هذه الجسيمات يمكنها إصدارُ البخار وإحداث الشعلة الخاصة بها، إلَّا أنَّكم تتصورون أنَّها تحترق جميعًا في شعلة واحدة، عندما تنظرون إليها. الآن سوف أضرم النارَ في كمية منها، وسوف ترَوْن أثرَ ذلك. رأينا سحابة لهبٍ، تبدو ذات بنية واحدة؛ غير أنَّ الضجيجَ الصادر (في إشارة إلى الصوت الناتج عن الاحتراق) دليلٌ على أنَّ الاشتعال لم يكن متواصلًا أو منتظمًا. إنَّ هذا هو البرق المُستخدَم في العروض المسرحية، وهو يمثِّل محاكاة جيدة جدًّا. (أُعيدت التجربة مرتين عن طريق نفخ رجل الذئب من أنبوبة زجاجية عبر شعلة سائل كحولي)، لا يُعدُّ هذا مثالًا للاشتعال يشبه اشتعال البرادة الذي كنتُ أتحدَّث عنه، الذي علينا العودة إليه الآن. لماذا أجد هناك هذه الجسيمات السوداء، التي رأيتموها صادرة عن الشعلة في مراتٍ عديدة.

(17) يُستخدَم في الألعاب، (Lycopodium clavatum الكبريت النباتي) مسحوق أصفر يوجد في ثمرة الحزازيات الذئبية النارية.

افترضوا أنني تناولتُ شمعةً وفحصتُ ذلك الجزء الذي يبدو لأعيننا أكثر لمعانًا، إذا جهزتُ أنبوبي الزجاجي بحيث أدسُّه في هذا الجزء اللامع، كما في تجربتنا الأولى إلَّا أنَّني أدسُّه أعلى قليلًا من المرة السابقة، ترَوْن النتيجة؛ بدلًا من الحصول على البخار الأبيض نفسِه الذي حصلتم عليه من قبل، تحصلون الآن على بخارٍ أسودَ، ها هو يأتي، أسود مثل الحبر. من المؤكد أنَّه يختلف بشدة عن البخار الأبيض؛ وعندما أشعله، سوف نجد أنه لا يحترق، بل يخبو اللهب. حسنًا

فإنَّ هذه الجسيمات هي دخان الشمعة فقط، كما أخبرتكم من قبل، وهو ما يجلب إلى الذهن استخدامًا قديمًا للشمعة، اقترحه العميد سويفت(18) على الخدم من أجل تسلية أنفسهم، تحديدًا الكتابة على سقف الحجرة بواسطة شمعة. لكن ما هذه المادة السوداء؟ ما العلَّة وراء أنَّ هذا هو الكربون نفسه الموجود في الشمعة. كيف يخرج من الشمعة؟ من الواضح أنَّه موجودٌ في الشمعة، وإلا ما كان لنا أن نحصل عليه هنا. والآن أريد منكم أن تتابعوني أثناء قيامي بتفسير هذا. لا تتصورون بالكاد أن كلَّ تلك المواد التي تحوم حول لندن، هي لب جمال وحياة الشعلة، وهي تحترق فيها كما حُرِقت برادة الحديد تلك هنا. ها هنا قطعة من شبكة سلكية، لا تسمح للشعلة بالمرور عبرها، وأظن أنكم سوف ترَوْن في الحال تقريبًا أنَّني عندما أنزل بها بالشكل الكافي كي تلمس ذلك الجزء اللامع من الشعلة، تقمع الشبكة اللهبَ وتهدئ منه في الحال، وتسمح بتصاعد كمية من الدخان.

18) العميد سويفت: هو جوناثان سويفت (١٦٦٧ – ١٧٤٥)، مؤلفٌ وسياسيٌّ ورجل دين بريطاني، ومن أشهر أعماله (رحلات جليفر)، حصل على لقب عميد منذ أصبح عميدًا لكاتدرائية سانت باتريك. (المترجم).

والآن أريد منكم أن تنتبهوا لي، عندما تحترق مادة من دون أن تبلغ حالة البخار (سواء تحوَّلت إلى سائلٍ أو بقيت صلبة) -مثلما احترقتْ البرادة في لهب البارود- فإنها تصبح لامعة بصورة بالغة. لقد تناولتُ هنا ثلاثة أو أربعة أمثلة بعيدة عن الشمعة، من أجل توضيح هذه النقطة لكم؛ لأنَّ ما ينبغي عليَّ قولُه، ينطبق على كلِّ المواد، سواء كانت تحترق أو لا تحترق. هكذا تلتمع المواد بصورة بالغة إذا احتفظت بحالتها الصلبة، وتدين الشمعة بلمعانِها إلى وجود هذه الجسيمات الصلبة في شعلتها.

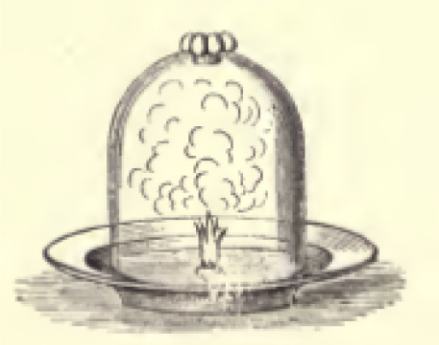
ها هنا سلكٌ بلاتينيٌّ، إنَّ له هيئة لا تتغيَّر بالحرارة. إذا سخَّنته في هذه الشعلة، انظروا كيف يصبح لامعًا بصورة بالغة. سوف أجعل الشعلة خافتة، من أجل أن تُصدِر القليلَ من الضوء فقط، ومع ذلك سوف ترَوْن أنَّ الحرارة التي يمكنها توليدها ومنحها إلى ذلك السلك البلاتيني ما تزال قادرة على منحه درجة عالية جدًّا من البريق، على الرغم من أنَّ حرارة الشعلة أقلُّ كثيرًا من الحرارة التي لديه هو نفسه. في هذه الشعلة كربون، لكنني سوف أتناول واحدة ليس فيها كربون. ثمَّة مادة خام، نوعٌ من الوقود -بخار أو غاز أو كما تفضلون أن تدعوه- في ذلك الوعاء، لا يحتوي على جسيماتٍ صلبة، لذلك فقد جلبته لأنَّه مثالٌ على شعلة تحترق من دون أي مادة صلبة مهما كانت. وإذا وضعتُ الآن هذه المادة الصلبة فيها، سوف ترَوْن أيَّ حرارة شديدة

تنبعث، وإلى أي درجة تتسبَّب في جعل الجسم الصلب يبرق. هذه هي الماسورة التي نوصل من خلالها هذا الغاز، الذي ندعوه هيدروجين، وسوف تعرفون عنه كلَّ شيء في لقائنا التالي. وها هنا مادة تُدعى أكسجين، بواسطتِها من الممكن حرْق هذا الهيدروجين؛ وعلى الرغم من أننا نُوَلِّد عن طريق خليطٍ منهما حرارةً أعلى كثيرًا(19) من تلك التي نحصل عليها من شمعة، إلَّا أنَّه لا يبعث إلَّا القليلَ جدًّا من الضوء. مع ذلك إذا تناولتُ مادة صلبة، ووضعتُها فيه، نُوَلِّد ضوءًا شديدًا. إذا تناولتُ قطعة من الحجر الجيري، مادة لا تحترق، ولا تتبخر بالحرارة (ولأنها لا تتبخر تبقى صلبة وتبقى ساخنة)، فسوف تلاحظون سريعًا ما يحدث فيما يتعلَّق ببريقِها. لديَّ هنا حرارة شديدة للغاية ناتجة عن حرق الهيدروجين في وجود الأكسجين؛ إلَّا أنَّ هناك القليلَ جدًّا من الضوء مع ذلك -ولا يرجع ذلك إلى افتقار للحرارة، بل إلى افتقار للجسيمات الصلبة التي يمكنها الاحتفاظ بحالتِها الصلبة- لكنني عندما أعرض قطعة الحجر الجيري هذه لشعلة الهيدروجين المحترق في الأكسجين، انظروا كيف تتوهَّج! هذا هو ضوء الحجر الجيري البرَّاق ينافس ضوءَ البطارية، ويكافئ ضوءَ الشمس تقريبًا. لدي هنا قطعةٌ من الكربون أو الفحم، سوف تحترق وتمدُّنا بضوءٍ بالطريقة نفسِها تمامًا التي تمدُّنا بها بالضوء لو كانت تحترق كجزءٍ من شمعة. تُحلل الحرارة التي في شعلة الشمعة بخارَ الشمع وتحرِّر جسيمات الكربون (تتصاعد ساخنة ولامعة كما تلتمع هذه الآن، ثم تدخل في الهواء)، إلَّا أنَّ الجسيمات عندما تحترق لا تمرُّ أبدًا خروجًا من الشمعة في صورة كربون، إنَّها تمضي إلى الهواء في صورة مادة غير مرئية تمامًا، سوف نعرف عنها فيما يلي.

19) حسب بنزن درجة حرارة حملاج (أنبوب معدني صناعي يُستعمَل لتكوين لهبٍ قويٍ) الهيدروجين المصحوب بأكسجين ليجدها ٨٠٦١° مئوية. درجة حرارة احتراق الهيدروجين في الهواء ٣٢٥٩° مئوية، ودرجة حرارة احتراق غاز الفحم في الهواء ٢٣٥٠° مئوية.

أليس من القبيح الاعتقاد أنَّ مثل هذه العملية تمضي، وأنَّ مثلَ هذا الشيء الوسخ كالفحم يمكنه أن يصبح وهَّاجًا؟ تروْن أنَّ الأمورَ تمضي وَفْق هذه الصورة، تحتوي الشعلات اللامعة كلُّها على هذه الجسيمات الصلبة، كلُّ تلك الأشياء التي تحترق وتُوَلِّد جسيماتٍ صلبة -سواء في وقت احتراقها كما هو الحال مع الشمعة، أو بعد أن تحترق مباشرة كما هو الحال مع البارود وبرادة الحديد- تمدُّنا بهذا الضوء البرَّاق والجميل.

سوف أضرب لكم القليلَ من الأمثلة التوضيحية: ها هنا قطعة من الفسفور، تحترق مصحوبة بشعلة لامعة. حسنًا جدًّا، قد نَخلُص الآن إلى أنَّ ذلك الفسفور سوف يُوَلِّد هذه الجسيمات الصلبة، إما في لحظة احتراقه أو فيما بعد ذلك. ها هنا الفسفور وقد أُشعِل، أغطيه بهذا الزجاج من أجل الاحتفاظ بما ينتج في الداخل. ما هذا الدخان كله؟ يحتوي هذا الدخان على تلك الجسيمات التي يُوَلِّدها اشتعال الفسفور. ومن جديدٍ ها هنا مادتان، هذه كلورات البوتاسيوم وكبريتور الأنتيموني، سوف أمزجهما معًا قليلًا، ومن ثمَّ قد يُحرقان بطرقٍ عديدة.



شكل رقم (9)

سوف أجعل قطرة من حمض الكبريتيك تلمسهما، من أجل أن أمدَّكم بمثالٍ توضيحيٍّ للتفاعل الكيميائي، وسوف يحترقان من فورِهما[20] (أوقد المحاضر الخليطَ عن طريق حمض الكبريتيك)، والآن يمكنكم الحكمُ بأنفسِكم بناءً على ما تبدو عليه الأمور عمَّا إذا كانا يولدان مادة صلبة عند احتراقهما، لقد أعطيتكم قاطرة الاستدلال التي سوف تمكِّنكم من معرفة ما إذا كانا يفعلان أم لا؛ فما هي الشعلة اللامعة بخلاف كونها جسيمات صلبة عابرة؟

[20] ما يلي هو أثر حمض الكبريتيك في إلهاب مزيج كبريتور الأنتيموني وكلورات البوتاسيوم، إذ يتحلَّل جزءٌ من الأخير بواسطة حمض الكبريتيك إلى أكسيد الكلور وثاني كبريتات البوتاسيوم وفوق كلورات البوتاسيوم. يلهب أكسيد الكلور البنية القابلة للاشتعال لكبريتور الأنتيموني، ويندفع اللهب في الكتلة كلها.

لدى السيد أندرسون في فرنِه بوتقة ساخنة جدًّا، أوشك أن ألقي فيها بعضَ برادة الزنك، وسوف تحترق بلهبٍ يُشبِه لهبَ البارود. أجريتُ هذه التجربة لأنَّكم تستطيعون إجراءها بصورة جيدة في البيت. والآن، أريدكم أن تروا ما يصدر عن اشتعال هذا الزنك. ها هو الحريق، يمكنني أن أقول إنَّه حريقٌ جميلٌ مثل ذلك الخاص بالشمعة، لكن ما كلُّ ذلك الدخان، وما سحابات الصوف الصغيرة تلك، التي سوف تأتي إليكم إذا لم تستطيعوا الذهاب إليها، تروْنها على شاكلة

صوف الفلاسفة العتيق(21)، كما كان يُسمَّى، لقد خلَّفنا في البوتقة كمية من المادة الصوفية كذلك، إلَّا أنَّني سوف آخذ قطعة من الزنك نفسه، وأجري تجربة أكثر تأثيرًا ووقعًا. تجدون الأمرَ نفسَه يحدث هنا. ها هي قطعة الزنك وهناك (مشيرًا إلى تدفُّقٍ للهيدروجين) الفرن، وسوف نشرع في الأمر ونحاول حرق المعدن. ترونه يبرق؛ ها هو الاشتعال، وها هي المادة البيضاء التي تحترق فيه. وهكذا، إذا اعتبرتم شعلة الهيدروجين تلك ممثلة عن الشمعة، وأريتكم مادة مثل الزنك تحترق في اللهب، سوف ترؤن أنَّه خلال حدث الاشتعال فقط تتألَّق هذه المادة عندما نحافظ على سخونتها، وإذا تناولت شعلة هيدروجين ووضعت هذه المادة البيضاء من الزنك فيها، انظروا كيف تتألَّق بشكلٍ جميلٍ، وذلك لأنَّها مادة صلبة فقط.

(21) صوف الفلاسفة: هو أكسيد الزنك وينتج عن احتراق الزنك في الهواء، وأُطلِق عليه هذا الاسم لأنَّ الخيميائيين كانوا يقومون بتحضيره ضمن طقوسهم. (المترجم).

الآن سوف أتناول الشعلة، وأُحرِّر جسيمات الكربون منها. ها هنا بعض الكافور، الذي يحترق مصحوبًا بدخانٍ، إلَّا أنَّني لو أرسلت جسيمات الدخان هذه عبر هذه الماسورة إلى داخل شعلة الهيدروجين سوف ترؤن أنَّها ستحترق وتصبح وضاءة لأنَّنا نسخنها لمرة ثانية. ها هي ذا. ها هي جسيمات الكربون يُعاد إيقادُها لمرة ثانية. إنَّها تلك الجسيمات التي يمكن رؤيتها بسهولة عن طريق الإمساك بقصاصة من الورق من خلفِها، والتي توقد بواسطة الحرارة المولدة عندما تكون في الشعلة، وعندما توقد على هذا النحو، تنتج هذا اللمعان. عندما لا تكون الجسيمات منفصلة، لا تحصلون على أي وَهَجٍ. تدين شعلة غاز الفحم ببريقِها إلى انفصال جسيمات الكربون خلال الاشتعال، تلك الجسيمات الموجودة في غاز الفحم كما هي موجودة في الشمعة. يمكنني تغيير هذا النسق بسرعة كبيرة، على سبيل المثال، ها هنا شعلة لامعة للغاز، بافتراض أنني قد أضفت الكثيرَ من الهواء للشعلة بحيث أجعل الغاز يحترق بالكامل قبل تحرير تلك الجسيمات، فلن أحصل على هذا البريق، ويمكنني القيام بذلك على النحو التالي: لو أنَّني وضعتُ فوق تدفُّق الغاز هذا الغطاء المصنوع من شبكة سلكية -كما ترون- ثم أوقدتُ الغازَ من فوقها، فإنَّه يحترق مصحوبًا بشعلة غير وهَّاجة، بسبب أنَّه نال وفرة من الهواء الذي امتزج به قبل أن يحترق؛ وإذا رفعت الشبكة، ترون أنَّه لم يحترق أسفل منها(22). يوجد الكثيرُ من الكربون في الغاز؛ لكنَّكم ترؤن كيف هي الشعلة شاحبة وزرقاء بسبب أن الهواءَ المحيط يستطيع الوصول إليه والامتزاج به. وإذا نفخت في شعلة غاز برَّاقة، بحيث يُستهلك هذا الكربون كله قبل أن يسخن إلى درجة التألُّق،

فإنَّه سوف يحترق بلهبٍ أزرق كذلك. (يوضِّح المحاضر ملاحظاتِه عن طريق النفخ في ضوء الغاز) يكمن السبب الوحيد وراء عدم حصولي على الضوء اللامع نفسِه عندما نفختُ هكذا في الشعلة في أنَّ الكربونَ التقى بهواءٍ كافٍ كي يحترق قبل انفصالِه في الشعلة وتحرُّره، يعود الفارق الوحيد إلى أنَّ الجسيمات الصلبة لم تنفصل قبل احتراق الغاز.

(22) يدين الموقد الهوائي بقيمتِه الكبيرة في المعمل وفوائدِه لهذا المبدأ، يتكوَّن من مدخنة معدنية أسطوانية مُغطَّاة عند القمة بقطعة من الشبك السلكي الغليظ المصنوع من الحديد. مدعومة فوق موقد أرجاند بطريقة تجعل من المحتمل للغاز أن يختلط في المدخنة بكمية من الهواء تكفي لحرق الكربون والهيدروجين في الوقت ذاته، وبذلك قد لا يكون ثمة انفصالٌ للكربون في الشعلة، وما يستتبع ذلك من ترسُّب للسناج. تتقد الشعلة على نحوٍ ثابتٍ بالأعلى، وتكاد لا تكون مرئية، إذ إنَّ الشعلة لا تستطيع المرورَ عبر الشبكة السلكية.

تلاحظون أنَّ ثمَّة نواتجَ تصدر عن اشتعال الشمعة، وأنَّ جزءًا من بين تلك النواتج قد يُعتبَر فحمًا أو سناجًا؛ عندما يحترق ذلك الفحم فيما بعد يُوَلِّد ناتجًا آخر ما، ومما يعنينا كثيرًا للغاية الآن معرفة ماهية ذلك الناتج الآخر. لقد بيّنَّا أنَّ شيئًا ما كان يمضي مبتعدًا؛ وأريدكم الآن أن تفهموا مقدارَ ما يجري في الهواء؛ ولأجل ذلك الهدف سوف نقوم بإشعالٍ على نطاقٍ أكبر قليلًا. يتصاعد من هذه الشمعة هواءٌ ساخنٌ، وسوف توضِّح لكم تجربتان أو ثلاث التيارَ المتصاعد؛ لكن من أجل أن أوضِّح لكم مفهومَ كمية المادة التي تتصاعد بهذه الطريقة، سوف أجري تجربةً أحاول بها حبْسَ بعض من نواتج هذا الاشتعال. ولأجل هذه الغاية لدي هنا ما يُطلِق عليه الأولادُ بالونَ النار؛ أستخدمُ هذا البالون كمقياسٍ لناتج الاشتعال الذي نُعنى به فقط، وأنا على وشك إضرام شعلة بطريقة سهلة وبسيطة على أفضل نحوٍ ممكنٍ لخدمة هدفي الحالي. يمثِّل هذا الطبق «الحفرة المقعرة» للشمعة -كما سوف نُطلِق عليه- وسوف يكون هذا الكحول وقودَنا؛ وأنا على وشك وضع هذه المدخنة فوقه، لأنَّه من الأفضل بالنسبة لي القيام بذلك، بدلًا من ترْك الأمور تمضي عشوائيًّا.

شكل رقم (10)

سوف يقوم السيد أندرسون الآن بإشعال الوقود، وهنا في القمة سوف نحصل على نواتج الاشتعال. ما نحصل عليه في قمة تلك الأنبوبة، هو نفسه ما نحصل عليه -بشكلٍ عامٍّ- من اشتعال شمعة، لكنَّنا لا نحصل على شعلة وضاءة هنا لأنَّنا نستخدم مادة محتواها من الكربون ضئيلٌ. أوشك أن أضعَ البالونَ، لا لكي أستخدمه كما يُستخدَم، فهذا ليس هدفي لكن لأريكم التأثيرَ الناتجَ عن تلك النواتج التي تتصاعد من الشمعة، وهي تتصاعد هنا من الموقد. (أمسكَ بالبالون فوق المدخنة، الذي بدأ من فورِه في الامتلاء) ترَوْن كيف يميل للارتفاع؛ لكن علينا ألَّا نتركه ليصعد، لأنَّه قد يتلامس مع مصابيح الغاز تلك، وهو أمرٌ غيرُ مناسب أبدًا. (حُمِلت مصابيح الغاز بالأعلى إلى الخارج بناء على طلب المُحاضِر، وسُمِح للبالون بالارتفاع) ألا يوضح لكم ذلك المقدارَ الضخمَ للمادة الناجمة عن الاشتعال؟ الآن فإنَّ كلَّ نواتج اشتعال تلك الشمعة تمضي عبر هذا الأنبوب (يضع أنبوبًا زجاجيًّا كبيرًا فوق الشمعة)، وسوف ترَوْن في الوقت الحالي أنَّ الأنبوبَ يصبح معتمًا. افترضوا أنَّني تناولتُ شمعة أخرى، ووضعتُها تحت برطمان، ثم أوقدتُ ضوءًا على الجهة الأخرى، من أجل أن أريكم ما يجري فقط. ترَوْن أنَّ جوانبَ البرطمان تصبح مغممة، وأنَّ اللهبَ يبدأ في الاحتراق بصورة واهنة. إنَّها النواتج التي ترَوْنها، هي ما تجعل اللهبَ خافتًا جدًّا، وهو الأمرُ نفسُه الذي يجعل جوانبَ البرطمان معتمة جدًّا. إذا ذهبتم إلى البيت، وأخذتم ملعقة كانت في الهواء البارد، وأمسكتم بها فوق شمعة -ليس من أجل أن يصيبها السناج- فسوف تجدون أنَّها صارت معتمة، تمامًا مثلما صار البرطمان معتمًا، وإذا استطعتم إحضارَ طبقٍ فضيٍّ، أو شيء على هذه الشاكلة، فسوف تحصلون على تجربة أفضل. والآن من أجل المُضي قُدمًا

بالأفكار حتى نلتقي في المرة القادمة، اسمحوا لي أن أخبرَكم أنَّه الماءُ هو الذي يتسبَّب في هذا الإعتام؛ وعندما ألتقي بكم في المرة القادمة، سوف أريكم أنَّ في إمكاننا جعله يتَّخذ الصورة السائلة من دون صعوبة.

المحاضرة الثالثة

ـ النواتج: الماء الناتج عن الاشتعال

طبيعة الماء ـ المركب ـ الهيدروجين

أجرؤ على أن أقول إنَّكم تذكرون عند مغادرتِنا في المرة السابقة إشارتي إلى كلمة «النواتج» الناجمة عن الشمعة، إذ إنَّه عندما تحترق الشمعة نجد أنَّنا قادرون على الحصول على نواتج مختلفة منها وذلك عند القيام بترتيباتٍ دقيقة. ثمَّة مادةٌ واحدةٌ لم نحصل عليها عندما كانت الشمعة تحترق كما ينبغي، وهي الفحم أو الدخان؛ وثمَّة مادةٌ أخرى تصاعدتْ عاليًا من الشعلة، ولم تظهر في صورة دخانٍ، لكنَّها اتَّخذت صورة أخرى، ومثَّلت جزءًا من التيار العام الصاعد من الشمعة، وصارت غيرَ مرئية وهربت، وثمَّة نواتجُ أخرى كذلك قد نأتي على ذكرِها. ببحث ذلك التيار المتصاعد الذي يمتدُّ أصلُه إلى الشمعة، تتذكرون أنَّنا عثرنا على جزئه القابل للتكثُّف على ملعقة باردة، أو على طبقٍ نظيفٍ، أو على أي شيءٍ آخر بارد، وثمة جزءٌ آخر لا يتكثَّف.

في البداية سوف نتناول الجزءَ القابلَ للتكثف، وسنقوم بفحصه؛ من العجيب أن نقول إنَّنا وجدنا أنَّ ذلك الجزءَ من الناتج هو مجرد ماءٍ، ولا شيء غير الماء. في آخر مرة تحدّثتُ عنه بشكلٍ عارضٍ، وبالكاد قلتُ إنَّ الماءَ يأتي ضمن نواتج احتراق الشمعة القابلة للتكثُّف، لكنَّني اليوم أرجو أن ألفتَ انتباهَكم للماء، الذي قد نفحصه في عناية، من حيث علاقته بهذا الموضوع على وجه الخصوص، وكذلك من حيث وجودُه العام على سطح الكرة الأرضية.

والآن، كنَّا قد أجرينا في السابق تجربةً من أجل تكثيف الماء من بين نواتج احتراق الشمعة، أهدفُ بعد ذلك إلى أن أريكم هذا الماء؛ وربما يكون الكشفُ عن تفاعلٍ مرئيٍّ بوضوحٍ للماء واحدًا من أفضل الوسائل التي يمكنني توظيفها كي أُظهِر وجودَه للكثيرين في الوقت نفسه، ثم أطبِّق ذلك الاختبار على القطرة التي جُمِّعت في قعر الوعاء. لديَّ هنا مادةٌ كيميائيةٌ، اكتشفها السير همفري ديفي(23)، لها تأثيرٌ شديدٌ للغاية على الماء، وسوف أستخدمها بمثابة اختبارٍ لوجودِ الماء. تُدعى هذه المادة بوتاسيوم باعتبارها مشتقة من «البوتاس»، إذا تناولتُ قطعةً صغيرة منها، ورميتُها في ذلك الحوض، انظروا كيف تُظهِر وجودَ الماء عن طريق الاشتعال والطفو والاحتراق المصحوب بلهبٍ بنفسجيٍّ. الآن سوف آخذ الشمعة التي كانت تحترق وأضعها

تحت وعاءٍ يحتوي على ثلجٍ ومِلحٍ، ترون قطرة من الماء -أحد النواتج المتكثِّفة لاحتراق الشمعة- معلَّقة على سطح الطبق من أسفل.

همفري ديفي: (١٧٧٨ – ١٨٢٩)، كيميائي بريطاني، اكتشف الصوديوم والبوتاسيوم، ورَأَسَ الجمعية الملكية منذ عام (23) ١٨٢٠ حتى عام ١٨٢٧. (المترجم)

شكل رقم (11)

سوف أريكم أنَّ هذا البوتاسيوم يتفاعل بالشكل نفسِه مع هذه القطرة كما يتفاعل مع الماء في ذلك الحوض، مثلما حدث في التجربة التي أجريناها. انظروا، يلتهبُ ويحترقُ بالطريقة عينها. سوف أتناول قطرة أخرى على هذه الشريحة، وعندما أضع البوتاسيوم فيها، تعرفون من فورِكم أنَّ ثمَّة ماءً، وذلك من التهاب البوتاسيوم. بالطريقة نفسها، إذا وضعتُ هذا المصباح الكحولي تحت ذلك البرطمان، سوف ترون البرطمان وقد أصبح معتمًا سريعًا، وذلك من الندى المترسِّب عليه – ينتج ذلك الندى عن الاشتعال؛ وليس لديَّ أدنى شكٍّ في أنَّكم سوف ترون بعد وقتٍ قصيرٍ قطراتِ الماء وهي تسقط على الورقة بالأسفل، إذ إنَّه ثمَّة قدرًا مُعتبَرًا من الماء الناجم عن اشتعال المصباح. سوف أترك كلَّ شيءٍ كما هو، ويمكنكم فيما بعد متابعة كمِّ الماء الذي جُمِع. وعلى ذلك، إذا جئتُ بمصباحٍ غازيٍّ ووضعتُ أيَّ وسيلة تبريدٍ فوقه، فسوف أحصل على ماءٍ، ماءٍ كأنَّه ناجمٌ عن اشتعال الغاز. ها هنا كمية من الماء في هذه الزجاجة (مياه نقية تمامًا ومقطرة، ناتجة عن اشتعال مصباحٍ غازيٍّ) وهي لا تختلف من أي وجه عن الماء الذي تحصلون عليه من نهرٍ أو محيطٍ أو نبعٍ، بل هي الشيء نفسُه تمامًا. الماء شيءٌ واحدٌ متفرِّدٌ، لا يتغيَّر أبدًا. يمكننا أن نضيف إليه في انضباطٍ حريصٍ لفترة زمنية قصيرة، أو يمكننا أن نفصلَه ونحصلَ على أشياءٍ أخرى منه؛ لكنَّ الماءَ كماءٍ يبقى كما هو دائمًا، سواء كان في حالة صلبة أو سائلة أو غازية. والآن ها هنا من جديدٍ بعضُ الماء الناتج عن اشتعال مصباحٍ زيتيٍّ (يقولها وهو

يمسك زجاجة أخرى)، عندما يحترق باينت(24) من الزيت جيدًا وكما ينبغي ينتج ما يزيد قليلًا عن باينت من الماء. وها هنا من جديدٍ بعضُ الماء الناتج عن شمع الشمعة الذي احترق في تجربة طويلة نوعًا. وهكذا يمكننا أن نواصل تقريبًا مع كلِّ المواد القابلة للاشتعال، ونكتشف أنَّه إذا احترقت مصحوبة بشعلة -مثل الشمعة- فإنها تنتج الماء. يمكنكم إجراءُ هذه التجربة بأنفسِكم، يمكنكم المحاولة باستخدام مقبضٍ مذكي النيران إذ يُعدُّ مناسبًا للأمر، وإذا بقي باردًا لفترة طويلة كفاية فوق الشمعة ربما تحصلون على ماءٍ تكثَّف على هيئة قطراتٍ فوقه، يمكنكم استعمال ملعقة أو مغرفة أو أي شيء آخر، بشرط أن يكون نظيفًا وأن يوفِّر الحرارة المناسبة، وبذلك يكثِّف الماءَ.

24) الباينت: وحدة قياس للحجوم، تعادل نصف اللتر تقريبًا. (المترجم).

والآن، من أجل أن أتطرق إلى تاريخ هذا التوليد الرائع للماء من المواد القابلة للاشتعال عند اشتعالها، يجب عليَّ أولًا إخبارُكم أنَّ هذا الماء قد يوجد في حالاتٍ مختلفة؛ وعلى الرغم من معرفتكم في الغالب بكلِّ حالات الماء، إلَّا أنَّها لا تزال تتطلَّب منَّا أن نوليها القليلَ من الانتباه في الوقت الحالي، وعلى ذلك قد ندرك كيف يبقى الماءُ ماءً كما هو تمامًا وبصورة مطلقة بينما يمرُّ بتغيُّراتٍ متباينة، وذلك سواء جاء من شمعة عن طريق الاشتعال أو من نهرٍ أو محيطٍ.

أولًا وقبل كل شيء: عندما يكون الماءُ في أبرد حالاته يصير ثلجًا. والآن نحن الفلاسفة -إذ أرجو أن أصنِّف نفسي وأصنِّفكم ضمنَ هذه الفئة- نتحدث عن الماء باعتباره ماءً سواء كان في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية– نتحدث عنه كيميائيًّا باعتباره ماءً. يتركَّب الماءُ من مادتين، واحدة منهما جئنا بها من الشمعة، والأخرى سوف نعثر عليها في مكانٍ آخر. قد يوجد الماءُ في صورة ثلجٍ، ولقد حظيتم بفرصٍ مثالية من أجل رؤيته على هذه الصورة مؤخرًا(25). يتحوَّل الثلجُ عائدًا إلى صورتِه كماءٍ (ولقد تعرَّضنا في السبت الفائت لمثالٍ قويٍّ على هذا التغيُّر، عندما نزلت المحنة الحزينة على منازِلنا وعلى منازل العديد من أصدقائنا كذلك)- يتحوَّل الثلجُ إلى ماءٍ عندما ترتفع درجة الحرارة، يتحوَّل الماءُ كذلك إلى بخارٍ عندما يُسخَّن بدرجة كافية. إنَّ الماءَ الذي لدينا هنا أمامنا في أكثر حالاته كثافة(26). ويبقى الماءُ ماءً على الرغم من تغيُّره من حيث الوزن والحالة والشكل ومختلف الخواص الأخرى، وهو يزداد حجمًا سواء حوَّلناه إلى ثلجٍ عن طريق التبريد أو حوَّلناه إلى بخارٍ عن طريق التسخين؛ في الحالة الأولى على نحوٍ غريبٍ

وفي قوة، وفي الحالة الأخرى على نحوٍ رائعٍ وفي حجمٍ كبيرٍ جدًّا. على سبيل المثال، سوف أتناول الآن هذه الأسطوانة الصفيح، وأصبُّ فيها القليلَ من الماء، ولكي تعرفوا كمية الماء التي أصبُّها فيها يمكنكم بسهولة تقدير الارتفاع الذي يصل إليه، يرتفع عن القعر بمقدار بوصتيْن. أنا الآن على وشك تحويل الماء إلى بخارٍ من أجل أن أبيّن لكم الأحجامَ المختلفة التي يشغلها الماء عندما يكون في حالة الماء وفي حالة البخار.

(25) تُلقى هذه المحاضرات في بريطانيا في وقت أعياد الميلاد. (المترجم).

(26) يكون الماء في أكثر حالاته كثافة عند درجة حرارة ٣٩.١° فهرنهايت وتعادل ٣.٩٨° مئوية. (المترجم).

دعونا الآن ننظر في أمرِ الماءِ المتحوّل إلى ثلجٍ، يمكننا القيام بذلك عن طريق تبريده في خليطٍ من المِلح والثلج المجروش(27)؛ وسوف أقوم بذلك كي أريكم تمدُّد الماء إلى شيءٍ له حجمٌ أكبر، عندما يتحوَّل إلى هذه الصورة. هذه الزجاجات (ممسكًا بواحدة) مصنوعة من حديدِ زهرٍ قويٍّ، قويٍّ للغاية وسميكٍ للغاية، أظنُّ أنَّ سمكَها ثلث بوصة؛ مُلِئت بالماء في حرصٍ شديدٍ، من أجل التأكُّد من خلوِّها من أي هواءٍ، ثم أُغلِقت بإحكامٍ. سوف نرى أنَّه عندما نجمِّد الماءَ في هذه الأوعية الحديدية فإنَّها لن تعودَ قادرة على الإحاطة بالثلج، وسوف يؤدي التمدُّد الحادث في داخلِها إلى تحطيمِها إلى قطعٍ مكسورة مثلما كُسِرت هذه (مشيرًا إلى بعض الشظايا والأجزاء)، إذ كانت زجاجات من النوع نفسِه تمامًا. إنَّني على وشك وضع هاتين الزجاجتين في مزيج الثلج والملح من أجل أن أريكم أنَّه عندما يصير الماءُ ثلجًا، يتغيَّر حجمُه بهذه الطريقة غير المعقولة.

(27) يقلل خليطٌ من المِلح والثلج المجروش درجة الحرارة من ٣٢° فهرنهايت إلى صفر – يتحوَّل الثلجُ إلى سائلٍ في الوقت نفسِه.

يعمل الملح على خفض درجة حرارة تجمُّد الماء من ٣٢° فهرنهايت (صفر مئوية) إلى صفر فهرنهايت (- ١٨° مئوية). (المترجم).

في الوقت نفسِه انظروا إلى التغيُّر الحادث في الماء الذي عرَّضناه للحرارة؛ إنَّه يفقد حالته السائلة. لقد غطيتُ فتحة الآنية الزجاجية التي يغلي فيها الماء بزجاج ساعة(28). هل تروْن ما يحدث؟ إنَّها تهتزُّ في اضطرابٍ مثل صمامٍ يصطك، لأنَّ البخارَ الصاعدَ من الماء المغلي يحرّك الصمامَ للأعلى والأسفل، ويدفع نفسَه إلى الخارج، ومن ثَمَّ يجعله يصلصل. يمكنكم بسهولة شديدة أن تدركوا أنَّ الآنية مليئة بالبخار تمامًا وإلَّا فإنَّه لن يستطيع شقَّ طريقِه إلى الخارج. تروْن كذلك أنَّ الآنية تحتوي على مادة أكبر كثيرًا في الحجم من الماء، إذ إنَّها تملأ الآنية بالكامل

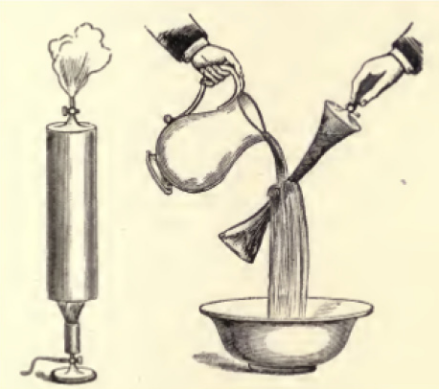
مرَّة إثر مرة من جديدٍ، وتُنفث إلى الخارج في الهواء؛ ومع ذلك لا يمكنكم أن تلاحظوا أيَّ انخفاضٍ كبيرٍ في كمية الماء، وهو ما يبيّن لكم أنَّ التغيُّر في الحجم عندما يتحوَّل الماءُ إلى بخارٍ يكون كبيرًا للغاية.

(28) قطعة زجاج دائرية مقعرة قليلًا، يستخدمها الكيميائيون في بعض تجاربهم (المترجم).

لقد وضعتُ الزجاجتين الحديديتين المحتويتين على الماء في هذا الخليط المجمِّد، وبالتالي يمكنكم رؤية ما يحدث. تلاحظون عدم وجود أي اتصالٍ حادثٍ بين الماء في الزجاجتين وبين الثلج في الوعاء الخارجي، غير أنَّه سوف يكون ثمَّة نقلٌ للحرارة من أحدها إلى الآخر. وإذا نجحنا -إذ إنَّنا نجري تجربتنا في عُجالة شديدة- فإنني أتوقَّع بين لحظة وأخرى، أن تستمعوا إلى فرقعة عند انفجار واحدة من الزجاجتين أو الأخرى، وذلك بمجرد أن تتملَّك البرودة منهما. وعندما نقوم بفحص الزجاجتين، سوف نجد أنَّ محتوياتهما كتلٌ من الثلج، يحتويها الغطاء الحديدي جزئيًّا، إذ إنَّه صغيرٌ للغاية بالنسبة إليها، وذلك لأنَّ الثلجَ أكبرُ في الحجم من الماء. تعرفون جيدًا أنَّ الثلجَ يطفو فوق الماء؛ إذا سقط طفلٌ في الماء عبر ثقبٍ في طبقة الثلج، يحاول اعتلاء قطعة من الثلج مجددًا كي تطفو به وترفعه، لماذا يطفو الثلج؟ فكر في ذلك، وتفلسف، لأنَّ حجمَ الثلج أكبر من حجم الماء الذي ينتجه؛ نجد وزنَ الثلج هو الأخف ووزنَ الماء هو الأثقل.

ومن أجل أن نعود الآن إلى أثر الحرارة على الماء، انظروا؛ يا له من بخارٍ ينبعث من هذا الوعاء! تلاحظون أنَّه قد كان من اللازم جعل الوعاء ممتلئًا تمامًا بالبخار كي ينبعث إلى الخارج في تلك الكمية الكبيرة. والآن كما نستطيع تحويل الماء إلى بخارٍ بواسطة الحرارة، يمكننا تحويل البخار إلى ماءٍ سائلٍ عن طريق تعريضِه إلى البرودة. وإذا أخذنا كوبًا أو أي شيءٍ آخر باردٍ وأمسكنا به فوق هذا البخار، انظروا كيف يتضبَّب سريعًا بالماء، سوف يقوم الكوب بتكثيف البخار حتى يصبح سطحه دافئًا، يُكثِّف الماء الذي يجري الآن على جوانبه. لدي هنا تجربة أخرى من أجل توضيح تكثُّف الماء من الحالة البخارية إلى الحالة السائلة، كما جرى مع البخار الناتج عن الشمعة، حين كثَّفناه على قعر طبقٍ وحصلنا عليه في صورة ماء. ولكي أوضح لكم كيف تحدث هذه التغيُّرات بشكلٍ حقيقيّ وشاملٍ، سوف أتناول هذه الآنية الصفيح، الممتلئة حاليًّا بالبخار، وأغلق أعلاها. سوف نرى ما يحدث عندما نتسبَّب في جعل هذا الماء أو البخار يعود إلى الحالة السائلة عن طريق صبِّ بعض الماء البارد على الوعاء من الخارج. (يصبُّ المُحاضِر

الماءَ الباردَ فوق الوعاء، وعندها ينسحق للداخل في التوِ) تروْن ما جرى، إذا أغلقتُ الغطاء، واستمررتُ في تعريض الوعاء للحرارة، كان الوعاء لينفجر. غير أنَّه عندما عاد البخار إلى حالة الماء، انسحق الوعاء للداخل إذ صار ثمَّة فراغٌ بالداخل نتج عن تكثُّف البخار. لقد أريتكم هذه التجارب من أجل الإشارة إلى أنَّه في هذه الوقائع كلها لا وجود لأي شيء يحوِّل الماءَ إلى أي شيءٍ آخر؛ ما زال الماءُ ماءً، أما الوعاء فمجبرٌ على الانهيار والانسحاق إلى الداخل، أما في الحالة الأخرى، فإنَّ الوعاءَ سوف ينفجر إلى الخارج مع الاستمرار في تعريضِه للحرارة.



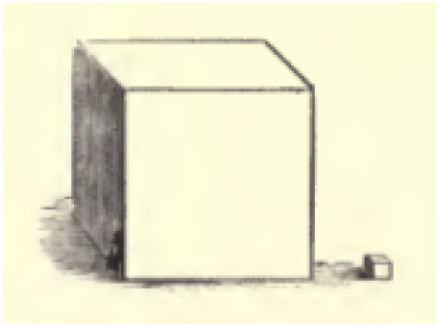
شكل رقم (12)

وماذا تظنون بخصوص حجم ذلك الماء حينما يتخذ الحالة البخارية؟ تروْن ذلك المكعب (مشيرًا إلى قدمٍ مكعب(29))، بجواره هناك بوصة مكعبة، لها شكلُ القدم المكعب تمامًا، وحجم الماء ذلك (البوصة المكعبة) كافٍ للتمدُّد في ذلك الحجم من البخار(القدم المكعب)، وعلى العكس من ذلك، سوف يتسبَّب التعرُّض للبرودة في انكماش ذلك القدر الكبير من البخار إلى هذا القدر الضئيل من الماء. (انفجرتْ في هذه اللحظة واحدة من الزجاجتين الحديديتين) آه! انفجرتْ واحدةٌ من زجاجتينا، وها أنتم تروْن هنا شرخًا على أحد الجوانب بعرض ثُمن بوصة. (انفجرتْ الأخرى الآن، ملقية بالمزيج المتجمِّد في الاتجاهات كافة) انكسرت الزجاجة الأخرى أيضًا، على الرغم من أنَّ سماكة الحديد كانت نصف بوصة تقريبًا، انفجر الثلج متشظيًا.

29) القدم المكعب: هو مكعب حجمه قدم × قدم × قدم، والقدم يساوي ٠.٣٠٤٨ متر. (المترجم)

تحدث هذه التغيرات دائمًا للماء؛ لا تحتاج دائمًا إلى وسائل اصطناعية كي تقع ــلقد استخدمناها هنا فقط لأنَّنا رغبنا في توليد شتاءٍ صغيرٍ حول تلك الزجاجة الصغيرة، ليكون بديلًا

عن واحدٍ طويلٍ وقاسٍ- غير أنَّكم لو ذهبتم إلى كندا أو إلى الشمال سوف تجدون أنَّ درجة الحرارة خارج البيوت تفعل الشيءَ نفسَه الذي قمنا به هنا عن طريق تجميد الخليط.



شكل رقم (13)

ولكي نعود إلى فلسفتِنا الهادئة، ففي المستقبل لن تخدعنا أيُّ تغيُّراتٍ تحدث للماء، الماءُ هو نفسُه في كلِّ مكانٍ، سواء جاء من محيطٍ أو من شعلة شمعة.

إذن من أين جاء هذا الماء الذي نحصل عليه من الشمعة؟ عليَّ استباق الأمر قليلًا وإخباركم، من الواضح أنَّ جزءًا منه يأتي من الشمعة، لكن هل هو داخل الشمعة سلفًا؟ لا، هو ليس في الشمعة، وليس في الهواء من حول الشمعة، ذلك الهواء اللازم من أجل اشتعالها، الماء ليس في أيٍّ منهما، لكنَّه يأتي من تفاعلهما معًا، جزء من الشمعة وجزء من الهواء، وعلينا تعقُّب هذا الآن، وبالتالي قد نفهم بشكلٍ شاملٍ ما التاريخ الكيميائي لشمعة، عندما تحترق لدينا على منضدتنا. كيف يمكننا بلوغ هذا؟ أعرف شخصيًّا طرقًا وافرة، لكنَّني أريدكم أن تبلغوا الأمرَ عن طريق ما اجتمع في أذهانِكم مما أخبرتكم به للتوِّ.

أظنُّ أنَّ بإمكانِكم تصوُّر القليل بهذه الطريقة. لقد كانت لدينا للتوِّ قضية المادة التي تفاعلت مع الماء وَفْق الطريقة نفسِها التي وضَّحها لنا السير همفري ديفي(30)، والتي أنوي تذكيركم بها عن طريق إجراء تجربة من جديدٍ على ذلك الطبق. إنَّها تجربة علينا التعامُل معها بحرصٍ شديدٍ، رأيتم أنَّني إذا تركتُ رشة بسيطة من الماء تلامس هذه الكتلة، فإنَّها تضرم النيران في جزءٍ منها، وإذا كان ثمَّة منفذٌ مفتوحٌ للهواء، فسرعان ما تشتعل النيران في الكتلة بالكامل. والآن، هذا معدنٌ -جميلٌ وبراقٌ- يتحوَّل سريعًا في الهواء ويتحوَّل سريعًا -كما تعرفون- في الماء. سوف أضع قطعةً في الماء، وها أنتم تروْنها تحترق في جمالٍ، صانعة مصباحًا طافيًا، يستخدم الماء بدلًا من الهواء. ومن جديدٍ إذا أخذنا القليلَ من برادة أو خراطة الحديد، ووضعناها في ماءٍ،

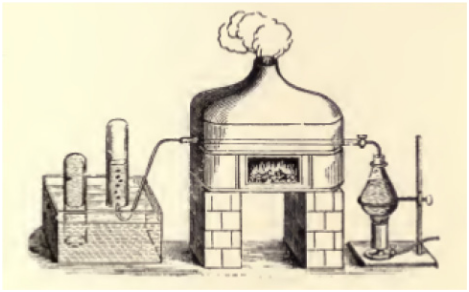
نجد أنَّها بالمثل تمرُّ بتغيُّرٍ. لا تتحوَّل بالقدر نفسِه الذي يتحوَّل به البوتاسيوم، لكنَّها تتحوَّل نوعًا ما بالطريقة ذاتِها؛ تصبح صدئة، وتُظهِر تفاعلًا مع الماء، وإن كان بدرجة مختلفة الشدة بالنسبة إلى ما يفعله هذا المعدن الجميل، غير أنَّها في العموم تتفاعل مع الماء بالطريقة ذاتِها مثل البوتاسيوم. أريد منكم أن تضعوا هذه الحقائق المختلفة معًا في عقولِكم. لديَّ معدنٌ آخر هنا (الزنك)، وعندما نفحصه ونفحص المادة الصلبة الناتجة عن اشتعاله، تتوفَّر لنا فرصة رؤية أنَّه يحترق، وأفترض أنَّني إذا أخذتُ شريحة من هذا الزنك ووضعتُها فوق الشمعة، سوف تروْن شيئًا في المنتصف، بين اشتعال البوتاسيوم في الماء وتفاعل الحديد – تروْن أنَّ ثمَّة اشتعالًا من نوعٍ ما؛ لقد احترقتْ مخلِّفة رمادًا أبيض أو بقايا بيضاء، ونجد هنا كذلك أنَّ للمعدن قدرًا ما من التفاعل مع الماء.

(30) اكتشف السيد همفري ديفي البوتاسيوم -الأساس المعدني للبوتاس- في عام ١٨٠٧، وذلك بعد نجاحه في فصل البوتاسيوم من البوتاس، عن طريق بطارية فولتية قوية. يتسبَّب انجذاب البوتاسيوم الشديد للأكسجين في تحليله للماء مصحوبًا بتوليد الهيدروجين الذي يشتعل مع الحرارة الناتجة.

لقد تعلَّمنا كيف نُعدِّل من تفاعل هذه المواد المختلفة بدرجاتٍ، وأن نجعلها تخبرنا بما نرغب في معرفته. والآن، أولًا وقبل كل شيء، أتناول الحديد. من المعتاد في التفاعلات الكيميائية التي نحصل فيها على أي نتائج من هذا النوع، أن نجد أنَّها تزيد بفعل الحرارة، وإذا أردنا فحصَ تفاعل المواد المختلفة وتأثير أحدها على الآخر في عناية وبدقة، علينا أن نرجع في الغالب إلى تأثير الحرارة. أظنُّ أنَّكم على وعي بأنَّ خُراطة الحديد تحترق بصورة جميلة في الهواء، لكنَّني على وشك أن أريكم تجربة من هذا النوع لأنَّها سوف تغرس في أذهانِكم ما أنوي قولَه بخصوص الحديد في تفاعله مع الماء. إذا جئتُ بشعلة وجعلتُها مجوَّفة (تعرفون السبب، لأنَّني أريد جلب الهواء لها ولداخلِها، ولذلك أجعلها مجوَّفة) ثم أتناول القليلَ من خُراطة الحديد وألقي بها في الشعلة، تروْن كيف تحترق جيدًا. ينتج هذا الاشتعال عن التفاعل الكيميائي الذي يحدث عندما نضرم اللهبَ في تلك الجسيمات. وهكذا نمضي نحو تأمُّل هذه التأثيرات المختلفة، ونتبيَّن ما يفعله الحديدُ عندما يتقابل مع الماء. سوف يخبرنا ذلك بالقصة بشكلٍ جميلٍ جدًّا وتدريجيٍّ جدًّا ومنتظمٍ، وهو ما يجعلني أظنُّ أنَّ ذلك سوف يسعدكم كثيرًا.

لديَّ هنا فرنٌ له ماسورة، تمرُّ منه مثل ماسورة مسدس حديدية، ولقد ملأتُ تلك الماسورة بخُراطة حديدٍ لامعة، ووضعتُها عبر النار، كي تجعلها ساخنة محمرة. يمكننا إما إرسال الهواء

عبر الماسورة كي يصل إلى الحديد، أو إرسال بخارٍ من هذه الغلَّاية الصغيرة في نهاية الماسورة. ها هنا محبسٌ يمنع البخارَ من بلوغ الماسورة حتى نرغبَ في ذلك. ثمَّة بعضُ الماء في هذه البرطمانات الزجاجية، وقد لوَّنته باللون الأزرق، وبذلك تروْن ما يحدث. تعرفون الآن على نحوٍ جيّدٍ جدًّا أنَّ أيَّ بخارٍ قد أرسله عبر تلك الماسورة إذا عبر من خلالِها في الماء، سوف يتكثَّف، إذ رأيتم أنَّ البخارَ لا يمكنه الاحتفاظ بصورتِه الغازية، إذا بُرِّد.



شكل رقم (14)

رأيتموه هنا (مشيرًا إلى الآنية الصفيح) وقد انهار إلى كمٍّ صغيرٍ، وتسبَّب في انسحاق الآنية المحيطة به. على ذلك إذا أرسلتُ البخارَ عبر تلك الماسورة، فسوف يتكثَّف عندما تكون الماسورة باردة، لذلك نعمل على تسخينِها من أجل القيام بالتجربة التي أوشك أن أريها لكم. سوف أرسل البخارَ عبر الماسورة في كميات صغيرة، وسوف تحكمون بأنفسكِم إذا كان قد ظلَّ على صورتِه البخارية، عندما تروْنه ينبعث من النهاية الأخرى للماسورة. يميل البخارُ إلى التكثُّف في صورة ماءٍ، وعندما تخفضون درجة حرارة البخار، تحولونه إلى ماءٍ سائلٍ، غير أنَّني خفضتُ درجة حرارة الغاز الذي جمعته في هذا البرطمان، وذلك عن طريق تمريرِه عبر الماء بعد أن اجتاز الماسورة الحديدية، وما زال لم يتحوَّل إلى ماءٍ بعد. سوف أطبِّق اختبارًا آخر على هذا الغاز. (أُمسك بالبرطمان مقلوبًا، وإلَّا سوف تهرب مادتي الغازية) إذا عرضتُ فوهة البرطمان للهب الآن، يحدث اشتعالٌ مصحوبٌ بضوضاءٍ بسيطة. يخبركم ذلك بأنَّه ليس بخارًا؛ يخمد البخار النار ولا يحترق، غير أنَّكم رأيتم أنَّ ما كان لدي في ذلك البرطمان قد احترق. قد نحصل على هذه المادة على نحوٍ مكافئ من الماء الناتج عن لهب الشمعة، كما يمكننا الحصولُ عليها من الماء القادم من أي مصدرٍ. عندما نحصل على تلك المادة عن طريق تفاعُل الحديد مع بخار الماء، فإنَّها تترك الحديدَ في حالة شبيهة للغاية بتلك التي تكون عليها خُراطة الحديد هذه

بعد أن تُحرَق. إنَّها تجعل الحديدَ أثقلَ مما كان في السابق. طالما بقي الحديد في الأنبوب وسُخِّن وبُرِّد مرة أخرى من دون دخول الهواء أو الماء فإنَّه لا يتغيَّر من حيث الحجم، لكن بعد تمرير تيار البخار فوقه، يصير أثقل مما كان من قبل، وقد أخذ شيئًا ما من البخار وسمح لشيءٍ ما آخر بالانطلاق، وهو الشيء الذي رأيناه هنا. والآن، سوف أريكم أمرًا مثيرًا للغاية، إذ إنَّ لدينا برطمانًا آخر ممتلئًا بذلك الغاز، إنَّه قابلٌ للاشتعال، وقد آخذ هذا البرطمان في الحال وأضرم النار في محتواه، وأريكم أنَّه قابلٌ للاشتعال، لكنَّني أنوي أن أريكم المزيدَ بقدر استطاعتي. إنَّه خفيفٌ للغاية كذلك. يتكثَّف البخار، إلَّا أنَّ هذا الغاز يصعد في الهواء ولا يتكثَّف.

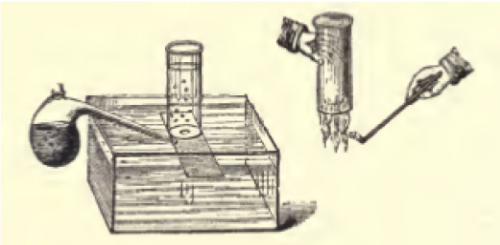
شكل رقم (15)

افترضوا أنَّني قد أخذتُ برطمانًا زجاجيًّا آخر فارغًا تمامًا إلَّا من الهواء، إذا فحصتُه باستخدام مذكي النيران فلن أجده يحتوي إلَّا على الهواء (إذ إنَّه لا يشتعل). سوف آخذ الآن ذلك البرطمان المليء بالغاز الذي أتحدَّثُ عنه، وأتعامل معه كما لو كان جسمًا خفيفًا. سوف أمسك بالاثنين وهما في وضعٍ مقلوبٍ، أضع البرطمان الذي يحتوي على الغاز الصادر عن البخار تحت البرطمان الآخر ثم أديره كي تصبح فوهتُه إلى أعلى، ما الذي يحتوي عليه الآن؟ سوف تجدون الآن أنَّه لا يحتوي إلَّا على الهواء. لكن انظروا! ها هنا المادة القابلة للاشتعال (يقولها وهو يتناول البرطمان الآخر)، التي تركتها تتدفَّق من البرطمان الأول إلى ذلك الآخر. إنَّها لا تزال تحتفظ بخصائصِها وحالتِها واستقلالِها، ولذلك فهي أكثر ما يستحقُّ تأمُّلنا فيما يخصُّ ما ينتج عن الشمعة.

الآن، فإنَّ هذه المادة التي قد حضَّرناها للتوِّ من تفاعُل الحديد مع البخار أو الماء، يمكننا كذلك الحصول عليها عن طريق تلك الأشياء الأخرى التي رأيتموها منذ قليلٍ تتفاعل جيدًا مع الماء؛ إذا أخذتُ قطعةً من البوتاسيوم وقمتُ بالإجراءات اللازمة فسوف تُوَلِّد هذا الغاز، وإذا أخذتُ بدلًا

منها قطعةً من الزنك فسوف أجد -عندما أفحصها بعناية شديدة- أنَّ السببَ الرئيس وراء عدم قدرة الزنك على التفاعُل بشكلٍ متواصلٍ مع الماء مثل بقية المعادن، يكمن في أنَّ ما ينتج عن تفاعله مع الماء يغلِّف الزنكَ بنوعٍ من الطبقات الحامية. تعلمنا من ذلك أنَّنا لو وضعنا في وعائنا الزنكَ فقط مع الماء، فإنَّهما لن يُطلِقا تفاعلًا كبيرًا من تلقاء نفسيهما، ولن نحصل على أي نتيجة. لكن افرضوا أنَّني أقدمتُ على إذابة الطلاء -هذه المادة المعرقلة- وهو ما يمكنني القيام به باستخدام القليل من الحمض؛ في اللحظة التي أقوم فيها بهذا، أجد الزنكَ يتفاعل مع الماء على النحو نفسِه الذي يتفاعل به الحديد تمامًا، لكن في درجة الحرارة المعتادة. لا يتغيَّر الحمضُ من أي وجه إلَّا من حيث ارتباطه بأكسيد الزنك الناتج. لقد صببتُ الآن الحمضَ في الكوب، والتأثير يشبه تأثيرَ التعرُّض للحرارة، ما يتسبَّب في غليان المحتوى. ثمَّة شيءٌ ما يأتي من الزنك بوفرة شديدة، هو ليس بخارًا، ها هنا برطمانٌ مليء به، وسوف تكتشفون أنَّ لديَّ المادة القابلة للاشتعال نفسها تمامًا، التي بقيت في الوعاء عندما أمسكتُ به مقلوبًا، تلك المادة التي نتجتْ خلال تجربة الماسورة الحديدية، هذا هو ما نحصل عليه من الماء، المادة نفسها الموجودة في الشمعة.

دعونا الآن نتعقب في استيضاحٍ الرابطَ بين هذين النقطتين. إنَّ هذا هو الهيدروجين (يقصد الغاز في البرطمان، ذلك الغاز الناتج عن تفاعل الزنك وعن الماسورة الحديدية)، مادة تُصنَّف من بين تلك الأشياء التي ندعوها في الكيمياء عناصر أولية، لأنَّنا لا نستطيع الحصول على أي شيء آخر منها.



شكل رقم (16)

لا تُعدُّ الشمعة عنصرًا أوليًّا، لأنَّنا نستطيع الحصولَ على الكربون منها، يمكننا الحصول على هذا الهيدروجين منها، أو على الأقل من الماء الذي ينتج عنها. وقد سُميَّ هذا الغاز بهذا الاسم لأنَّه العنصر الذي يُولِّد عند ارتباطه بعنصر آخر الماءَ(31). استطاع السيد أندرسون حاليًّا

الحصول على برطمانيْن أو ثلاثة من الغاز، ولدينا قليلٌ من التجارِب لنجريها، وأريد أن أريكم السبيلَ الأمثل لإجراء هذه التجارب. لا أخشى من أن أريكم التجارِب، إذ أرجو منكم فقط تنفيذ التجارب إذا أجريتموها مع الحرص والعناية اللازميْن، وبموافقة المحيطين بكم. نُجبر عند مُضيّنا قُدمًا في الكيمياء على التعامُل مع موادٍ تكون مؤذية إلى حدٍّ ما، إذا وُضِعت في غيرِ محلِّها، الأحماض والحرارة والأشياء القابلة للاشتعال التي نستخدمها قد تكون ضارة إذا وُظِّفت بغير اعتناءٍ. إذا رغبتم في توليد الهيدروجين، يمكنكم القيام بذلك بسهولة باستخدام قطعٍ صغيرة من الزنك وحمض الكبريتيك أو حمض المورياتيك (الهيدروكلوريك). ها هنا ما سُميَّ في الأزمنة السابقة «بشمعة الفيلسوف.» وهي عبارة عن قارورة صغيرة، لها غطاءٌ من الفلين، وأنبوبة أو ماسورة تمرُّ عبر الغطاء الفليني.

تعني (ماء) و(جين) تعني (يُوَلِّد) (هيدرو) (31).

شكل رقم (17)

والآن أضع فيها القليلَ من قطع الزنك الصغيرة، سوف أُوظِّف هذه الأداة الصغيرة في عرضِنا التوضيحي من أجل هدفٍ مفيدٍ، إذ أرغبُ في أن أريكم أنَّ في استطاعتكم تحضيرَ الهيدروجين، والقيام ببعض التجارِب به في منازِلكم بقدر ما يرضيكم. دعوني أخبركم هنا عن سبب حرصي الشديد وتأكُّدي من ملء هذه القارورة إلى قرب نهايتِها، لكن دون أن تمتلئ تمامًا، أقوم بذلك لأنَّ الغازَ المُخلَّق قابلٌ للاشتعال بشدة والانفجار بدرجة مؤثرة، وذلك عندما يختلط بالهواء، كما رأيتم، وقد يؤدي هذا الغازُ إلى وقوع الضرر إذا قرَّبتم اللهبَ من نهاية الماسورة قبل سحب الهواء كلِّه خارج الحيز فوق الماء.

سوف أصبُّ الآن حمضَ الكبريتيك، لقد استخدمتُ القليلَ للغاية من الزنك والكثيرَ من حمض الكبريتيك لأنَّني أرغبُ في الحفاظ عليه عاملًا لبعض الوقت، لذلك أحرص بهذه الطريقة على تعديل مقادير المكونات، وبذلك قد أحصل على إمدادٍ منتظمٍ –ليس سريعًا للغاية وليس بطيئًا للغاية- بفرض أنَّني تناولتُ الآن كوبًا ووضعتُه مقلوبًا فوق نهاية الأنبوبة، أتوقَّع أنَّ الهيدروجين سوف يبقى في ذلك الوعاء لبعض الوقت لأنَّه خفيفٌ. سوف نختبر الآن محتويات كوبنا كي نرى إذا كان ثمَّة هيدروجين فيه. أقول في طمأنينة إنَّنا قبضنا على البعض منه (يُقرِّب اللهب)، ها هو ذا، تروْن، سوف أقرِّب اللهبَ الآن من قمة الأنبوبة؛ ثمَّة هيدروجين يحترق، ها هي ذي الشمعة الفلسفية. قد تقولون إنَّها مصدرٌ أحمق وضعيفٌ للهب، غير أنَّها ساخنة للغاية، ولا يكاد يوجد أيُّ لهبٍ معتادٍ يُصدِر حرارة شديدة هكذا. تواصل الاشتعال في انتظامٍ، والآن سوف أجعل هذا اللهب يحترق وفق ترتيباتٍ معينة من أجل اختبار نواتجه والاستفادة من المعلومات التي قد نحصل عليها عندئذٍ. طالما تنتج الشمعة الماء ويأتي هذا الغاز من الماء، دعونا نرى ما الذي يجلبه لنا هذا الغاز عندما يتعرَّض إلى عملية الاشتعال نفسها التي تمرُّ بها الشمعة، عندما تحترق في الهواء المحيط، ولأجل هذه الغاية، سوف أضع قنديلًا تحت هذا الجهاز، كي أُكثِّف ما قد يتصاعد من الاشتعال بداخلِه. بعد مرور وقتٍ قصيرٍ سوف تروْن الرطوبة آخذة في الظهور داخل الأسطوانة، وسوف تحصلون على الماء يجري هابطًا على الجوانب. وسوف يكون للماء القادم من شعلة الهيدروجين الأثر نفسُه على كلِّ اختباراتِنا بالتأكيد، إذ حصلنا عليه عن طريق العملية العامة نفسِها التي حصلنا بها عليه في الحالة السابقة. هذا الهيدروجين مادة جميلة جدًّا؛ إنَّه خفيفٌ للغاية، وبالتالي يحمل الأشياءَ إلى أعلى. هو أخفُّ كثيرًا مقارنة بالهواء المحيط، وأجرؤ على أن أقول إنَّ باستطاعتي أن أبيِّن لكم هذا عن طريق التجربة، وإذا كنتم ماهرين جدًّا، فإنَّ البعضَ منكم قد يملك المهارة الكافية كي يكررها. ها هنا مولِّد الهيدروجين الخاص بنا، وها هنا بعضُ رغاوي الصابون، ولديَّ أنبوبٌ من المطاط متصلٌ بمولِّد الهيدروجين، وفي نهاية الأنبوب غليون تدخين التبغ.

شكل رقم (18)

وبذلك يمكنني وضع الغليون في الرغاوي، ونفخ الفقاعات باستخدام الهيدروجين. تلاحظون كيف تسقط الفقاعات إلى الأسفل عندما أنفخها باستخدام أنفاسي الدافئة، لكن لاحظوا الفارقَ عندما أنفخها بالهيدروجين. (ينفخ المُحاضِر الفقاعات باستخدام الهيدروجين؛ وترتفع الفقاعات نحو سقف المسرح) توضِّح لكم هذه التجربة مدى خفة هذا الغاز إذ إنَّه لا يحمل معه فقاعة الصابون المعتادة فقط، بل الجزء الأكبر للقطرة المعلقة في أسفلها كذلك. يمكنني أن أريكم خفَّته بطريقة أفضل من هذه؛ قد يحمل فقاعاتٍ أضخم من هذه كذلك، في الحقيقة، اعتدنا ملء البالونات في الأزمنة السابقة بهذا الغاز. سوف يُثبِّت السيد أندرسون هذا الأنبوب بمولِّدنا، وسوف يكون لدينا تيارٌ من الهيدروجين هنا، يمكننا من خلاله تعبئة هذا البالون المصنوع من الكولوديون. لستُ في حاجة إلى أن أكون حريصًا جدًّا كي أُخرِج منه كلَّ الهواء، إذ إنَّني أعلم قدرة هذا الغاز على حمل الأشياء عاليًا. (مُلئ بالونان من الكولوديون، وأُرسِلا عاليًا، أحدهما ممسوكٌ بخيطٍ) ها هنا واحدٌ أكبر مصنوعٌ من غشاءٍ رقيقٍ، سوف نملؤه ونسمح له بالصعود؛ سوف تروْن أنَّها ستبقى جميعًا طافية، حتى يتسرَّب الغاز.

إذن ما هي الأوزان النسبية لهذه المواد؟ لديَّ جدولٌ هنا سوف يوضح لكم الأوزانَ النسبية بين المواد وبعضها البعض. اتخذتُ من البانيت والقدم المكعب مقياسيْن، ووضعتُ أمامهما المقادير المقابلة. البانيت من هذا الهيدروجين يزن ثلاثة أرباع أصغر أوزاننا (القمحة)(32)، ويزن القدم المكعب منه جزءًا من ١٢ جزءًا من الأوقية(33). بينما يزن بانيت الماء ٨٧٥٠ قمحة، ويزن القدم المكعب من الماء نحو ١٠٠٠ أوقية. هكذا، تروْن كم هو الفارق ضخمٌ بين وزن قدم مكعب من الماء ووزن قدم مكعب من الهيدروجين.

32) القمحة: وحدة قياس وتعادل ٦٤.٨ ميللي جرام تقريبًا. (المترجم).

33) الأوقية: وحدة قياس وتعادل ٢٨.٣٥ جرام. (المترجم).

لا يمدُّنا الهيدروجين بأي مادة يمكن أن تصير صلبة، سواء خلال الاشتعال أو بعده نتيجة لاشتعاله، إلا أنَّه عندما يحترق يُوَلِّد الماءَ فقط، وإذا أخذنا كوبًا باردًا ووضعناه أعلى الشعلة، يصير معتمًا، وتجدون الماء وقد ظهر على الفور في كمياتٍ مُعتبَرة. ولا ينتج أيَّ شيء عن طريق الاشتعال سوى الماء نفسه، الذي رأيتم شعلة الشمعة تولِّده. من المهم أن تتذكَّروا أنَّ هذا الهيدروجين هو الشيء الوحيد في الطبيعة الذي يمدُّ بالماء كناتجٍ وحيدٍ للاشتعال.

والآن علينا السعي لإيجاد برهانٍ إضافي يدلُّ على الخاصية العامة للماء وتركيبه، ولأجل هذا الغرض سوف أستبقيكم لفترة أطول قليلًا، وبذلك سوف نكون أكثر جاهزية لهذا الموضوع في لقائنا القادم. كانت لدينا القدرة على تجهيز الزنك -الذي رأيتموه وهو يتفاعل مع الماء بمساعدة الحمض- على النحو الذي يجعل كلَّ القوى في محلِّها تمامًا حيث نحتاج إليها. لديَّ ورائي عمودٌ فلطائي(34)، وأنا على وشك أن أريكم في نهاية المحاضرة خواصَّه وإمكاناتِه، وبذلك قد تروْن ما الذي نتعامل معه عندما نلتقي في المرة القادمة. أمسك هنا بطرفي السلكين اللذين ينقلان القوى من خلفي، والتي سوف أجعلها تعمل على الماء.

(34) العمود الفلطائي: هو أول بطارية اخترعت في التاريخ. (المترجم).

لقد رأينا في السابق قوى الاشتعال التي يملكها البوتاسيوم أو الزنك أو خُراطة الحديد، إلَّا أنَّ أيًّا منها لم يُظهِر طاقة مثل هذه. (يلامس المُحاضِر طرفي سلك البطارية أحدهما بالآخر، وعندها تتولد ومضة ضوء لامعة)، إنَّها طاقةٌ يمكنني حملُها بين يدي وأنا مسرورٌ وهي في هذين السلكيْن، غير أنَّه إذا عرَّضت نفسي لها بشكلٍ خاطئ، فسوف تدمرني في لحظة، إذ إنَّها أكثرُ الأشياء شدة، والطاقة التي تراها تُبذل هنا بينما تعد إلى خمسة (يلامس القطبين أحدهما بالآخر ويستعرض الضوء الكهربي) مكافئة لطاقة العديد من العواصف الرعدية، إنها طاقة عظيمة جدًّا(35). وهكذا قد تدرك مقدار شدة طاقة البطارية، سوف آخذ نهايتي السلكيْن اللذيْن يوصلان الطاقة من البطارية، وأجرؤ على أن أقول إنَّني أستطيعُ حرقَ خُراطة الحديد هذه بهما. الآن، فإنَّ هذه الطاقة هي طاقة كيميائية، وهي الطاقة التي سوف أُعرِّض الماء لها في لقائنا القادم، وبذلك أبيّن لكم النواتج التي يمكننا الحصول عليها.

(35) قام البروفيسور فاراداي بحساب أن الكهرباء اللازمة لتحليل ما يزن قمحة من الماء يعادل تلك الموجودة في ومضة برقٍ قوية جدًّا.

تشير المقاربات الحديثة إلى أنَّ ضربة البرق تحتوي على ما قد يساوي مليون كيلو جول، يتبدَّد أغلبُها في أثناء رحلتها نحو الأرض، بينما يلزم تحليل مول من الماء (١٨ جرام) ٢٣٧ كيلو جول. (المترجم).

المحاضرة الرابعة

– الهيدروجين في الشمعة – يحترق إلى ماء

الجزء الآخر من الماء – الأكسجين

أرى أنَّكم لم تملُّوا الشمعة بعد، أو أنا على يقينٍ من أنَّ الموضوع ما كان ليثير انتباهَكم مثلما هو الحال الآن. عندما كانت شمعتُنا تحترق، وجدنا أنَّها تُولِّد ماءً مماثلًا تمامًا للماء الموجود حولنا، وقد وجدنا عن طريق المزيد من الفحص لهذا الماء الذي وجدناه أنَّ فيه تلك المادة العجيبة، الهيدروجين، مادة خفيفة، لدينا البعضُ منها في هذا البرطمان. بعد ذلك رأينا الطاقة الناجمة عن احتراق ذلك الهيدروجين، وعن طريق هذا الاحتراق يتولَّد الماءُ. وأظنُّ أنَّني وجَّهتُ انتباهَكم نحو جهازٍ، قلتُ عنه باختصارٍ شديدٍ إنَّه عبارة عن نظامٍ من قوى أو طاقة أو تأثيراتٍ كيميائية، منضبطة تمامًا كي تُوصِّل قواها لنا من خلال هذيْن السلكيْن. ولقد قلتُ إنَّ عليَّ استخدامَ تلك القوى من أجل تمزيق الماء إلى أجزائه، كي نرى ماذا يوجد هناك في الماء إلى جانب الهيدروجين، لأنَّه -كما تذكرون- عندما مررنا الماءَ عبر الأنبوبة الحديدية، لم نحصل مرة أخرى بأي حالٍ على وزن الماء الذي وضعناه بالداخل في صورة بخارٍ، وذلك على الرغم من كمية الغاز الكبيرة التي تولَّدت، ومن ثَمَّ علينا الآن أن نرى ما المادة الأخرى الموجودة. ولكي تفهموا خصائصَ واستخدامات هذا الجهاز، دعونا نجري تجربةً أو اثنتين. أولًا وقبل كل شيء دعونا نضع بعض المواد معًا، نعرف ما هي، ثم نرى ما الذي يفعله الجهاز بها. هناك بعضُ النحاس (لاحظوا التحولات المختلفة التي بإمكانه المرور بها)، وها هنا بعضٌ من حمض النيتريك، وسوف تكتشفون أنَّه يتفاعل بقوة شديدة عندما أضيفه إلى النحاس، ذلك لأنَّه عاملٌ كيميائيٌّ قويٌّ. ترونه الآن يبعث بخارًا أحمر جميلًا، لكن بما أنَّنا لا نرغب في ذلك البخار، سوف يمسك به السيد أندرسون بالقرب من المدخنة لفترة قصيرة، وبذلك نحصل على فائدة وجمال التجربة من دون أي إزعاجٍ. سوف يذوب النحاسُ الذي وضعته في الآنية: سوف يحوِّل الحمضَ والماءَ إلى سائلٍ أزرق، يحتوي على النحاس وأشياءٍ أخرى، وأنا عاقدُ العزمِ على أن أريكم الكيفية التي تتعامل بها البطارية الفلطائية مع ذلك السائل، وفي الوقت نفسِه سوف نعِدُّ من أجلكم تجربةً من نوعٍ آخر كي نرى ماهية الطاقة التي لديها. هذه مادة تشبه الماء بالنسبة لنا –يمكننا

أن نقول إنَّها تحتوي على مكوناتٍ لا نعرفها بعد، كما يحتوي الماءُ على مكوناتٍ لا نعرفها بعد- والآن سوف أضع محلولَ المِلح(36) هذا على ورقة وأنشره عليها، وأعرِّضه لقوى البطارية، وأراقب ما سوف يحدث. سوف تحدث ثلاثة أو أربعة أمورٍ مهمَّة، سوف نستفيد منها. أضع هذه الورقة المبلَّلة فوق رقاقة ورقية من القصدير، إذ إنَّه مناسبٌ للإبقاء على نظافة كلِّ شيء، وكذلك من أجل الاستعمال المجدي للقوة، وكما تروْن لا يتأثَّر المحلولُ على الإطلاق بوضعِه على ورقة أو رقاقة ورقية من القصدير أو أي شيء آخر وضعته ملامسًا له، ولذلك فنحن مطلقو اليد في استخدام ذلك الجهاز في هذا الخصوص. لكن دعونا نرى أولًا أنَّ جهازنا مُعدٌّ جيدًا. ها هنا السلكان. دعونا نرى ما إذا كان في الحالة التي كان عليها في المرة السابقة. يمكنني أن أخبركم حالًا. عندما أجلب السلكيْن ليتلامسا معًا، لا نحصل على أي قوة، لأنَّ الموصليْن -ما نُطلِق عليهما قطبين، ممرًّا أو سبيلا الكهرباء- قد عُطِّلا، لكن السيد أندرسون أرسل إليَّ الآن إشارة (مستدلًّا بومضة مفاجئة في نهايتي السلكين)، تفيد بأنَّنا جاهزون. قبل أن أبدأ تجربتنا سوف أجعل السيد أندرسون يفصل الاتصال في البطارية من خلفي مرة أخرى، وسوف نضع سلكًا بلاتينيًّا بشكلٍ مستعرض كي نُوَصِّل القطبين، ومن ثمَّ أجد في استطاعتي تسخين طولا جيدًا من السلك، وفي الوقت نفسه نكون آمنين أثناء التجربة. والآن سوف تروْن القوة. (أُعيد الاتصال وصار السلك البيني أحمرَ ساخنًا) ثمَّة قوى تجري بشكلٍ جميلٍ عبر السلك، الذي جعلتُه رفيعًا كي أريكم أنَّ لدينا تلك القوى القوية(37)، والآن بعد أن صارت القوى في حوزتِنا، سوف نمضي بها نحو فحص الماء.

36) ينتج محلولٌ من أسيتات الرصاص عند تعريضِه لتأثير التيار الفلطائي الرصاص عند القطب السالب وفوق أكسيد الرصاص البني عند القطب الموجب. ينتِج محلولٌ من نترات الفضة تحت الظروف نفسِها الفضة عند القطب السالب وفوق أكسيد الفضة عند القطب الموجب.

37) كلما كان السلكُ رفيعًا، زادت مقاومته وبالتالي التهابه وسخونته. (المترجم).

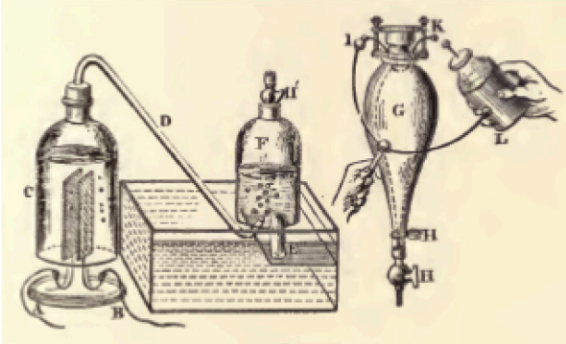
لديّ هنا قطعتان من البلاتين، إذا وضعتهما على قطعة الورق هذه (الورقة الرطبة على رقاقة القصدير)، فلن تروْا تفاعلًا، وإذا رفعتهما، لن تجدوا أيَّ تغيُّرٍ، إذ يبقى كلُّ شيءٍ على حالِه كما كان من قبل. لكن فلتنظروا إلى ما يحدث إذا ما تناولتُ هذيْن القطبيْن، ووضعتُ أحدهما أو الآخر بشكلٍ منفصلٍ على لوحي البلاتين، فبالنسبة لي لا أجد أنَّهما قاما بأي شيء، كلاهما بلا فعالية، لكن إذا تركتهما معًا وفي الوقت نفسِه على اتصالٍ (كلٌّ منهما بأحد لوحي البلاتين)، انظروا ما

يحدث (تظهر بقعةٌ بنيةٌ تحت كلِّ قطبٍ من قطبي البطارية). انظروا هنا إلى الأثر الذي حدث، ولتروا كيف نزعتُ شيئًا بنيًّا من وسط ما هو أبيض، وإذا رتبتُ الأمورَ على هذا النحو، ووضعتُ أحدَ القطبين على الرقاقة القصدير من الجانب الآخر من الورقة، سأحصل على هذا الأثر الجميل على الورقة، وسوف أرى إذا ما كنتُ قادرًا على الكتابة به أم لا، ها هو تلغراف بعد إذنكم. (يرسم المحاضر كلمة «نشء» على الورقة بإحدى نهايتي السلكين) انظروا مقدار الجمال الذي نحقق به نتائجنا!

تروْن أنَّنا عن طريق هذا المحلول، رسمنا شيئًا هنا لم نكن نميِّزه من قبل، دعونا الآن نأخذ تلك الآنية من بين يدي السيد أندرسون، ولنرى ما يمكننا رسمه عن طريقها. تعرفون أنَّ هذا محلولٌ خلَّقناه للتوِ من النحاس وحمض النيتريك. لقد كانت تجاربنا السابقة في متناول اليد، وعلى الرغم من أنَّني أجري هذه التجربة في شيء من العُجالة، وربما أكون أخرقَ بعض الشيء في أثناء التنفيذ، إلَّا أنَّني أفضِّل أن أدعكم تروْن ما أفعله بدلًا من أن أعدَّه بصورة مسبقة.

والآن فلتنظروا إلى ما يحدث. شريحتا البلاتين هاتان هما طرفا هذا الجهاز (أو سوف أجعلهما كذلك في الحال)، أوشك أن أضعهما في تماسٍّ مع ذلك السائل، كما فعلنا تمامًا على الورقة منذ لحظة، لا يهمُّ ما إذا كان المحلول على ورقة أو كان في برطمانٍ، طالما جعلنا طرفي الجهاز فيه. إذا وضعتُ شريحتي البلاتين داخل المحلول من دون أي شيءٍ آخر، فإنَّهما تخرجان نظيفتين وبدرجة الأبيض نفسها التي كانتا عليها عندما وضعناهما داخل المحلول (يضعهما داخل المحلول من دون توصيلهما بالبطارية)، إلَّا أنَّه عندما نُفعِّل القوى، ونضعهما (يُوَصِّل شريحتي البلاتين بالبطارية، ثم يغمرهما مرة أخرى في المحلول)، هذه -كما تروْن- (يقول وهو يستعرض واحدة من شريحتي البلاتين) تحوَّلت في الحال إلى نحاسٍ: لقد صارت شبيهة بشريحة من النحاس، أمَّا تلك (يقول وهو يستعرض قطعة البلاتين الأخرى) فقد خرجت نظيفة تمامًا. إذا تناولتُ هذه القطعة التي اكتسبت لونًا نحاسيًّا وجعلتُها في الجانب الآخر (قام بتوصيلِها بالسلك الآخر)، بحيث تترك الجانب الأيمن، وتستقرُّ في الجانب الأيسر وأبدلتُ الشريحة الأخرى كذلك، تخرج الشريحة التي كانت في السابق نحاسية اللون نظيفة، وتخرج التي كانت نظيفة من قبل مُغطَّاة بالنحاس، وهكذا تروْن أنَّ النحاسَ نفسَه الذي وضعناه في هذا المحلول، يمكننا استخراجه بمساعدة هذه الأداة.

فلننحِ ذلك السائلَ جانبًا لنرى الآن ما تأثير هذه الأداة على الماء. ها هنا شريحتان صغيرتان جعلناه على هذا الشكل ،(C) من البلاتين، أنوي أن أجعلهما طرفي البطارية، وهذا وعاءٌ صغيرٌ أصبُّ (B و A) كي أتمكَّن من تفكيكِه إلى أجزاءٍ، لأريكم تركيبَه. في هذين الكوبين الصغيرين (C) بعضَ الزئبق، الذي يلامس نهايتي السلكيْن المتصليْن بشريحتي البلاتين. أصبُّ في الوعاء بعضَ الماء المحتوي على القليل من الحمض (إلَّا أنَّه موضوعٌ فقط من أجل تسهيل التفاعُل، لكنَّه بأعلى (D) لا يبذل هو نفسُه أي تغيير في العملية الجارية)، تتصل أنبوبة زجاجية منحنية الوعاء، وقد تذكِّركَ هذه الأنبوبة بالماسورة التي كانت متصلة بفوهة المسدس في فرن تجربتنا، لقد ضبطتُ هذا الجهازَ الآن، وسوف نمضي قدمًا نحو بذل .(F) والتي تمرُّ الآن أسفل البرطمان تأثيرٍ على الماء بطريقة ما أو الأخرى. في التجربة الأخرى، أرسلتُ الماءَ عبر أنبوبة كانت قد سُخِّنت إلى درجة الاحمرار، أمَّا الآن فسوف أمرِّر الكهرباءَ عبر محتويات هذا الوعاء. ربما أغلي الماء، فإذا غليتُه فسوف أحصل على بخارٍ، وأنتم تعلمون أنَّ البخارَ يتكثَّف عندما يبرد، وهكذا عن طريق ذلك سوف تروْن إذا غليتُ الماءَ أم لا. ورغم ذلك، ربما لن أغلي الماء، لكنني سوف أؤثِّر عليه بشكلٍ آخر. سوف تحضرون التجربة وتروْن. ها هو السلك الأول، سوف أضعه وسوف تروْن ،(B) وها هو السلك الآخر، وسوف أضعه على الجانب الآخر ،(A) في الجانب قريبًا ما إذا كان ليحدث أيُّ اضطرابٍ. ها أنتم تروْن المشهدَ الشهيرَ لغليان الماء، يبدو كأنَّه يغلي، لكن هل يغلي بالفعل؟ دعونا نرى إذا كان ما يُخرِج بخارًا أم لا. أظنُّ أنَّكم سوف تروْن في وهو يمتلئ بالبخار، إذا كان ما يتصاعد من الماء بخارٌ. لكن هل من (F) وقتٍ قريبٍ البرطمان المحتمل أن يكون بخارًا؟ بالتأكيد لا، لأنَّه يبقى هناك -كما تروْن- من دون تغييرٍ. ها هو يستقرُّ فوق الماء، ولذلك من غير المحتمل أن يكون بخارًا، غير أنَّه بالتأكيد غازٌ دائمٌ من نوعٍ ما، ما هو؟ هل يكون الهيدروجين؟ هل يكون أيَّ شيءٍ آخر؟ حسنًا، سوف نختبره؛ لو كان هيدروجين، فسوف يحترق. (يُشعِل المحاضر جزءًا من الغاز المتجمِّع، الذي يحترق محدثًا فرقعة).



شكل رقم (19)

بالتأكيد هو شيءٌ قادرٌ على إحداث اشتعالٍ، لكنَّه يختلف عن الهيدروجين من حيث الطريقة التي يشتعل بها الأخير. ما كان الهيدروجين ليُحدِث هذه الضوضاء، إلَّا أنَّ لونَ اللهب عندما احترق ذلك الغاز كان مشابهًا لذلك الخاص باحتراق الهيدروجين، إلَّا أنَّه يحترق من دون أي اتصالٍ بالهواء. كان السبب وراء اختياري هذا التصميم للجهاز من أجل أن أُبيِّن لكم المجريات الخاصة لهذه التجربة. لقد استعملتُ وعاءً مغلقًا بدلًا من ذلك المفتوح، وسوف أريكم أنَّ ذلك الغازَ -أيًّا ما كان- يمكنه الاحتراق من دون هواءٍ، وهو يختلف في ذلك عن الشمعة، التي لا يمكنها الاحتراق من دون هواءٍ. (إنَّ بطاريتنا نشطة بصورة جميلة، إذ إنَّنا نغلي الزئبق، ونجد كلَّ شيء على الوجه الصحيح، لا شيء خاطئ، بل كلُّ شيء صحيحٌ بصورة فائقة)، أمَّا عن مثبَّتٌ بسلكيْن ،(G) السبيل الذي أتخذه كي أُبيِّن لكم ذلك، فهو كما يلي: لديَّ هنا وعاءٌ زجاجيٌّ عن طريقِهما يمكننا تمريرُ الكهرباء، كما يمكننا وضع الوعاء على مضخة ،(I K) من البلاتين الهواء وتفريغ الهواء منه، وبعدما نُخرِج الهواءَ يمكننا إحضار الوعاء الزجاجي وتثبيته بهذا ومن ثمَّ نسمح لذلك الغاز كي يدخلَ الوعاء الزجاجي، ذلك الغاز الذي تكوَّن عن ،(F) البرطمان طريق عمل البطارية الفلطائية على الماء والذي ولَّدناه عن طريق تحويل الماء إليه، (يمكنني بالفعل بلوغ ذلك المدى في الحديث وأقول إنَّنا حوَّلنا الماءَ إلى ذلك الغاز عن طريق تلك التجربة) إنَّنا لم نغيِّر حالتِه فقط، بل حوَّلناه بالفعل وبالتأكيد إلى تلك المادة الغازية. عندما أدير هذا الوعاء (H H) وأتأكد من اتصال الأنابيب جيدًا، وعندما أفتح المحابس ،(H) مثل البرغي هنا على (G H) وذلك عن طريق ،(F) من البرطمان (G) سوف تروْن أنَّ الغازَ يصعد إلى الوعاء الزجاجي ،(H إذ يحاول الماءُ شغلَ الفراغ الذي خلَّفه) ،(F) ملاحظة مستوى الماء الذي يزيد في البرطمان أمَّا الآن فسوف أُغلِق الصمامات، بعد أن .(بالأعلى (G) الغاز الذي تحرَّك نحو الوعاء الزجاجي

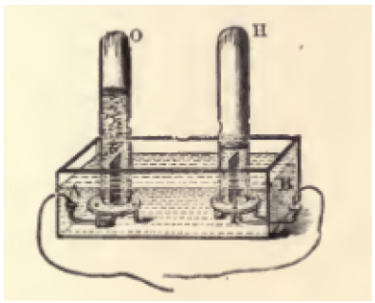
سحبتُ الغازَ إلى الأعلى بقدر ما يتسع إليه الوعاء الزجاجي. وبعد أن أنقل الوعاءَ بشكلٍ آمنٍ إلى تلك الغرفة، سوف أمرِّر إلى داخِله شرارة كهربية من قارورة ليدن(38) هذه. ترون الوعاءَ الآن شفافًا تمامًا ووضاء، إلَّا أنَّه يصير معتمًا بعد تمرير هذه الشرارة الكهربية. لن يكون ثمَّة انفجارٌ، إذ إنَّ الوعاءَ متينٌ بدرجة كافية كي يحتوي الانفجارَ. (من ثمَّ تمرُّ شرارةٌ عبر البرطمان، وعندها يشتعل المزيجُ المتفجر)، هل رأيتم هذا الضوء البرّاق؟ إذا أدرتُ الوعاءَ مرة أخرى مثل البرغي على البرطمان، وفتحتُ المحابس، سوف ترون أنَّ الغازَ سيصعد إلى الوعاء لمرة ثانية. (من ثم يفتح المحابسَ) لقد اختفتْ تلك الغازات كما ترون (يقصد تلك الغازات التي جُمِعت داخل الوعاء في البداية، التي كانت قد اشتعلتْ للتوِّ عن طريق الشرارة الكهربية). يشغل مكانَها خواءٌ، ولقد دخل الغاز الطازج إلى ذلك الخواء. لقد تكوَّن الماءُ من تلك الغازات (يقصد الغازات التي جُمِعت في البداية)، وإذا كررنا تجربتَنا (يقولها وهو يكرِّر خطوات التجربة السابقة) سوف نحصل على بعد احتراق الغاز في الوعاء يحلُّ محلَّه خواءٌ،) .خواءٍ آخر، تستدلون عليه من صعود الماء ونفتح المحابس، يصعد الغازُ إلى (F) بالبرطمان (G) والدليل أنَّنا عندما نوصل الوعاء الزجاجي لأنَّه يحاول أن يشغل المكانَ (F) ويعلو مستوى الماء في البرطمان (G) ذلك الخواء في البرطمان يصير الوعاءُ فارغًا دائمًا بعد الانفجار، لأنَّ البخارَ أو الغازَ ،(الذي يتركه الغاز المتصاعد وراءه -الذي نتج عن تحليل الماء بفعل البطارية- انفجر تحت تأثير الشرارة، وتحوَّل إلى ماءٍ. وبمرور الوقت والتكرار سوف ترون في هذا الوعاء الزجاجي بالأعلى بعضَ قطرات الماء تسيل على الجوانب وتجتمع في القعر.

(38) قارورة ليدن: إحدى أقدم وسائل تخزين الطاقة لفترة قصيرة داخل دائرة كهربية، وتقوم مقام المكثِّف في الدوائر الكهربية حاليًا. (المترجم).

إنَّنا مقصورون تمامًا في تعاملنا هنا على الماء فقط، من دون أي تعرُّض للهواء المحيط. أمَّا ماء الشمعة فيساعده الهواء المحيط على التكوُّن، وهكذا فإنَّ الماءَ بهذه الطريقة قد يتكوَّن بشكلٍ مستقلٍّ عن الهواء، وعلى ذلك فالماء يحتوي على المادة الأخرى التي تأخذها الشمعة من الهواء، والتي تُولِّد الماءَ عن طريق اتحادِها بالهيدروجين.

لقد رأيتم للتوِّ طرفَ البطارية ذلك وهو يقبض على النحاس، مستخلصًا إياه من الوعاء الذي يحتوي على المحلول الأزرق. كان ذلك تحت تأثير هذا السلك، ويمكننا أن نقول بالتأكيد إنَّه إذا كان للبطارية مثلُ هذه القدرة على المحلول المعدني الذي كوَّنَّاه وفككناه، فلِمَا لا نجد أنَّ من

الممكن فصل مكونات الماء بعضها عن بعض، ووضعها في هذا المكان وذلك؟ أفترض أنني أخذتُ القطبين -نهايتي البطارية المعدنيتين- ونظرتُ فيما سوف يحدث للماء في هذا الجهاز (شكل ٢٠)، حيث فصلنا بين نهايتي البطارية بمسافة.



شكل رقم (20)

ولديَّ رفَّان صغيران بكلٍّ منهما فتحة، (B)، والأخرى هناك في (A) أضع واحدةً هنا في يمكنني أن أضع واحدةً فوق كلِّ قطبٍ من القطبين، ومن ثمَّ أعِد الجهاز بحيث يظهر كلُّ ما يفلت من نهايتي البطارية على شكل غازٍ منفصلٍ، إذ رأيتُ أنَّ الماءَ لم يصر بخارًا، بل غازًا. والآن فإنَّ السلكيْن متصلان بشكلٍ سليمٍ وممتازٍ بالوعاء الذي يحتوي على الماء، وها أنت ترى (O)، الفقاعات تتصاعد؛ دعنا نجمع هذه الفقاعات ونرى ماهيتها. ها هنا أسطوانة زجاجية وأضعها فوق (H) كما أتناول أسطوانة أخرى، (A) أملؤها بالماء وأضعها فوق نهاية البطارية والآن صار لدينا جهازٌ مزدوجٌ، يُولِّد كلُّ جانبٍ من جانبيه غازًا، (B). نهاية البطارية الأخرى يمتلئ بسرعة كبيرة، أما ذلك (H) سوف يمتلئ كلا البرطمانين. ها هما ذا، ذلك الذي إلى اليمين فلا يمتلئ بالسرعة نفسِها. وعلى الرغم من أنَّني سمحتُ لبعض الفقاعات (O) الذي إلى اليسار بالإفلات ما يزال التفاعُل جاريًا في انتظامٍ بديعٍ. وإذا لم تكن إحدى الأسطوانتين أصغر من كلا الغازين بلا لونٍ، (O). مقارنة ب (H) الأخرى، فسوف تروْن أنَّ لديَّ ضعفَ الغاز في يستقرَّان فوق الماء من دون أن يتكثَّفا، يشبه أحدهما الآخر من كلِّ جانبٍ –أقصد من حيث الجوانب الظاهرة- نحظى هنا بفرصة دراسة هاتين المادتين والتأكُّد من ماهيتيهما؛ كميتهما أولًا، وأسألكَ أن (H) كبيرة، ويمكننا بسهولة إجراء التجارِب عليهما. سوف آخذ هذا البرطمان تستعد للتعرُّف على الهيدروجين.

فكر في خواصه كلها -الغاز الخفيف الذي يستقر جيدًا في الأوعية المقلوبة، يحترق بلهبٍ باهتٍ عند فتحة البرطمان- ولترى ما إذا كان هذا الغاز يوفي بكلِّ هذه الشروط. إذا كان هيدروجينًا فإنَّه سوف يبقى هنا بالأعلى بينما أمسك بالبرطمان مقلوبًا. (من ثمَّ جاء بشعلة، وعندها احترق الهيدروجين) والآن ما الذي يوجد في البرطمان الآخر؟ تعرفون أنَّ الاثنين معًا يشكِّلان مزيجًا متفجرًا، لكن ماذا قد يكون هذا الشيء الذي وجدنا أنَّه يشكِّل مكونَ الماء الآخر، وبذلك فهو المادة التي تجعل الهيدروجين يحترق؟ نعرف أنَّ الماء الذي نضعه في الوعاء يتكوَّن من الشيئين معًا. وجدنا أنَّ أحدَ هذين الشيئين هو الهيدروجين: ما ذلك الشيء الآخر، الذي كان في الماء قبل التجربة، والموجود لدينا الآن بمفرده؟ أوشك أن أضع شظية الخشب المشتعلة هذه في الغاز؛ لن يحترق الغاز نفسُه، لكنه سوف يجعل شظية الخشب تحترق. (أوقدَ المحاضرُ نهاية الشظية الخشبية، ووضعها في برطمان الغاز) انظر كيف يحفز اشتعال الخشب، وكيف يجعله يحترق بصورة أفضل كثيرًا من الهواء. أنتم الآن تنظرون إلى تلك المادة التي كانت محتواة في الماء، والتي كان يجب أن تُستمد من الهواء المحيط عند تكوين الماء من احتراق الشمعة. بماذا إنَّه اسمٌ مميزٌ وله وقعٌ ،Oxygen فلندعوها أُكسجين – O ؟ دعنا ندعوها C أم B أم A ندعوها جميلٌ للغاية. من ثم، فإنَّ هذا هو الأكسجين، الذي كان موجودًا في الماء، والذي يكوِّن جزءًا كبيرًا جدًّا منه.

الآن سوف نبدأ في فهم تجاربنا وأبحاثنا بصورة أوضح، لأنَّنا عندما نختبر هذه الأشياء مرة أو اثنتين، سوف نعرف سريعًا سببَ احتراق الشمعة في الهواء. عندما حلَّلنا الماءَ بهذه الطريقة -ما يعني أنَّنا فصلنا مكوناتِه أو حلَّلناها كهربيًّا- حصلنا على حجميْن من الهيدروجين وحجمٍ من ذلك الشيء الذي يحرقه، نجد هاتين المادتين ممثلتين هنا في المخطط التالي، نجد أنَّ وزنيهما معيَّنان كذلك، وسوف نكتشف أنَّ الأكسجينَ مادة ثقيلة جدًّا مقارنة بالهيدروجين؛ إنَّه العنصر الآخر الموجود في الماء.

ربما يكون من الأفضل الآن أن أخبركم كيف نحصل على هذا الأكسجين بوفرة، بعد أن أريتكم كيف يمكننا فصله عن الماء. يوجد الأكسجين في الهواء المحيط، تمامًا كما تصورتم للتوِّ، إذ كيف يمكن للشمعة أن تحترق وتولِّد الماءَ من دونه؟

كان هذا الأمر ليصير مستحيلًا على الإطلاق، ومستحيلًا كيميائيًّا من دون الأكسجين.

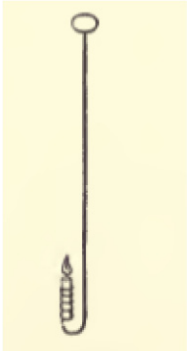
Hydrogen.	8 Oxygen.	Oxygen, ...	88.9
		Hydrogen. . . .	11.1
	9	Water, ...	100.0

هل يمكننا الحصول عليه من الهواء؟ حسنًا، يمكننا عن طريق بعض العمليات المعقَّدة والصعبة جدًّا الحصول عليه من الهواء، إلَّا أنَّ لدينا عملياتٍ أفضل. ثمة مادة تُدعى أكسيد المنجنيز الأسود، إنَّه معدنٌ يبدو شديدَ السواد، غير أنَّه مفيدٌ للغاية، وعندما نسخِّنه إلى درجة الاحمرار، يُخرِج الأكسجين.

شكل رقم (21)

ها هنا زجاجة من الحديد، موضوعٌ فيها كمية من هذه المادة، وثمَّة أنبوبة مثبَّتة فيها، وشعلة لهبٍ مجهزة. سوف يضع السيد أندرسون هذه المعوجة في النار، إذ إنَّها مصنوعة من الحديد، وتستطيع تحمُّل الحرارة. ها هنا مِلحٌ يُسمَّى كلورات البوتاسيوم، يُصنَّع الآن في كمياتٍ كبيرة كمنظفٍ للتبييض، كما يُصنَّع من أجل استخداماتٍ كيميائية وطبيَّة، وفي إنتاج الألعاب النارية، ومن أجل أغراضٍ أخرى. سوف آخذ البعضَ منه وأمزجه ببعض أكسيد المنجنيز (سوف يؤدي استعمال أكسيد النحاس أو أكسيد الحديد إلى النتيجة نفسها)، وأضعهما معًا في معوجة، في درجة حرارة أقل كثيرًا من درجة الاحمرار اللازمة لتوليد هذا الأكسجين من المزيج. لا أجهز لإنتاج الكثير، لأننا نريد ما يكفي من أجل تجربتنا فقط، فكما سوف ترَوْن حالًا، لو استخدمتُ كميةً صغيرةً جدًّا، سوف يمتزج القسمُ الأول من الغاز بالهواء الموجود في المعوجة بالفعل، وسوف أجبر على التضحية بالقسم الأول من الغاز، لأنَّه سوف يكون مخفَّفًا جدًّا للغاية، لذلك يجب التخلُّص من القسم الأول من الغاز. سوف تجدون في هذه الحالة أنَّ مصباحَ الكحول الشائع كافٍ تمامًا بالنسبة لي من أجل الحصول على الأكسجين، ولذلك سوف نمضي عبر عمليتين من

أجل تجهيزه. انظروا كيف يأتي الغاز في حرية من ذلك الجزء الصغير من المزيج. سوف نختبره، ونرى ما هي خواصه. الآن، ننتج بهذه الطريقة -كما تلاحظون- غازًا مماثلًا تمامًا لذلك الذي حصلنا عليه في تجربة البطارية، غازًا شفافًا ولا يذوب في الماء ويظهر الخواص الواضحة المعتادة للهواء المحيط. (وبما أنَّ هذا البرطمان الأول يحتوي على الهواء مع الانبعاثات الأولى للأكسجين التي نتجت خلال الإعدادات الأولى، فسوف ننحيه جانبًا إذن، ونستعد لإجراء تجربتنا بطريقة نظامية وعلى نحوٍ مشرِّفٍ). وطالما كانت القوى التي تجعل الخشبَ والشمعَ والأشياءَ الأخرى تحترق متجلية بوضوحٍ في الأكسجين الذي نحصل عليه عن طريق البطارية الفلطائية من الماء، قد نتوقَّع العثورَ على الخاصية نفسها هنا. سوف نجرب ذلك. تروْن ها هنا عصا إشعالٍ متَّقدة وهي تلتهب في الهواء، وها هو التهابها في هذا الغاز (يخفض عصا الإشعال ويضعها في البرطمان) انظروا كيف تحترق في جمالٍ ولمعانٍ! يمكنكم أن تروْا أيضًا ما هو أكثر من هذا، سوف تدركون أنَّه غازٌ ثقيلٌ، بينما يصعد الهيدروجين إلى الأعلى مثل البالون، بل أسرع من البالون، وذلك عندما لا يعيقه ثقلُ الغلاف الذي يغلِّفه ويحيط به.



شكل رقم (22)

يمكنكم إدراك ذلك بسهولة، فعلى الرغم من أنَّنا نحصل من الماء على هيدروجين حجمه ضعف حجم الأكسجين الذي نحصل عليه، إلَّا أنَّ ذلك لا يستتبعه أنَّ للهيدروجين ضعفَ وزن الأكسجين، لأنَّ أحدَهما ثقيلٌ بينما الآخر غازٌ خفيفٌ جدًّا. لدينا وسائل لوزن الغازات أو الهواء، لكن من دون التوقُّف لشرح ذلك، دعوني أخبركم بوزنيهما، إنَّ وزن باينت من الهيدروجين ثلاثة أرباع القمحة، أما وزن كمية مكافئة من الأكسجين تساوي اثنتي عشرة قمحة تقريبًا، وهو فارقٌ عظيمٌ جدًّا. وزن قدم مكعب من الهيدروجين جزءٌ من اثني عشر جزءٍ من الأوقية، أما وزن القدم المربع من الأكسجين فيساوي أوقية واحدة وثلث الأوقية. وهكذا قد نمضي نحو كمياتٍ من المادة

نزنها بالموازين وفي مقابل بعضها البعض، ونحسبها بمئات الأوزان(39) والأطنان(40)، وسوف تلاحظون الفارقَ في الحال.

(39) مئة وزن: وحدة قياس تساوي ١١٢ أوقية (المترجم).

(40) طن: وحدة قياس تساوي ٢٢٤٠ أوقية (المترجم).

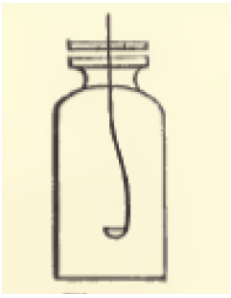
والآن، فيما يتعلَّق بهذه الصفة الخاصة بالأكسجين وتحفيزه للاشتعال مقارنة بالهواء، يمكنني أن آخذ شمعة، كي أريكم تلك الخاصية بطريقة عنيفة، وسوف تكون النتيجة عنيفة. ها هي شمعتنا تحترق في الهواء، كيف ستحترق في الأكسجين؟ لدي هنا برطمانٌ يحتوي على هذا الغاز، وأوشك أن أضعه من أجلِكم فوق الشمعة كي تقارنوا أثرَ هذا الغاز بأثر الهواء. انظروا إليها، يصدر وميضٌ مثل الوميض الذي رأيتموه عند قطبي البطارية الفلطائية. فكروا إلى أي مدى هذا الأثر شديد بالتأكيد! ورغم ذلك، فخلال هذا الأثر الشديد، لا يتولَّد ما هو أكثر مما يتولَّد عن طريق احتراق الشمعة في الهواء. عندما نستخدم هذا الغاز بدلًا من الهواء، نجد أنَّ لدينا الماءَ الناتج نفسه والظاهرة نفسها تمامًا حين نحرق الشمعة في الهواء.

إلَّا أنَّه في حوزتِنا الآن معرفة بهذه المادة الجديدة، يمكننا النظرُ إليها في تدقيقٍ بعض الشيء، من أجل إرضاء أنفسنا والتيقُّن من أنَّنا حصلنا على فَهْمٍ عامٍّ جيدٍ لهذا الجزء من نواتج الشمعة. إنَّ الدعمَ العظيمَ الذي تقدِّمه قوى هذه المادة للاشتعال رائعٌ للغاية. على سبيل المثال، ها هنا مصباحٌ، على الرغم من بساطتِه إلَّا أنَّه أصلُ عددٍ عظيمٍ متنوعٍ من المصابيح التي صُنِّعت من أجل أغراض الغوص، من أجل إضاءة المساكن وإضاءة الميكروسكوبات، ومن أجل استخدامات أخرى. وإذا كان مطلوبًا أن تجعله يحترق في لمعانٍ شديدٍ، فسوف تقول: «إذا احترقت الشمعة بصورة أفضل في الأكسجين، ألن يفعل المصباح الشيءَ نفسَه؟» لماذا لا يقوم بالشيء نفسِه. سوف يعطيني السيد أندرسون أنبوبة جاءت من خزان الأكسجين الخاص بنا، وأنا على وشك تعريض هذه الشعلة لها، تلك التي جعلتها تحترق مسبقًا بشكلٍ سيِّئ عن عمدٍ. ها هو الأكسجين يأتي، يا له من اشتعالٍ ذلك الذي يحدثه! إلَّا أنَّني إذا أوقفتُ الأكسجين، فماذا سوف يحدث للمصباح؟ (يوقف تدفُّق الأكسجين، وينتكس المصباح إلى خفوتِه السابق) الكيفية التي نسرِّع بها من الاشتعال بمساعدة الأكسجين رائعة، إلَّا أنَّه لا يؤثِّر على اشتعال الهيدروجين أو الكربون أو الشمعة فقط، بل يزيد كلَّ اشتعالٍ من النوع المعتاد. سوف نتناول اشتعالًا خاصًّا بالحديد على سبيل المثال، إذ إنَّكم رأيتم بالفعل احتراقَ الحديد قليلًا في الهواء. ها هنا برطمان

أكسجين، وهذه قطعة من سلكٍ حديدي، غير أنَّها لو كانت قضيبًا بسُمكِ ساعدي فسوف تحترق على النحو نفسِه. في البداية أعلق قطعة صغيرة من الخشب إلى الحديد، ثم أشعل النار في الخشب، وأترك الاثنين معًا في البرطمان؛ يتوهَّج الخشبُ الآن، وها هو يحترق مثلما يجب أن يحترق الخشب في الأكسجين، إلَّا أنَّ سرعان ما سوف يتصل اشتعاله باشتعال الحديد، يحترق الحديد الآن في لمعانٍ، وسوف يستمرُّ كذلك لوقتٍ طويلٍ؛ طالما نوفر الأكسجين، سوف يستمر اشتعالُ الحديد حتى نأتي عليه كله.

شكل رقم (23)

سوف ننحي هذا جانبًا الآن، ونتناول مادة ما أخرى، إلَّا أنَّ علينا الحدَّ من تجارِبنا، إذ إنَّنا لا نملك الكثيرَ من الوقت كي ننفقه على كلِّ العروض التوضيحية، التي كان ليحق لكم رؤيتها لو كان لدينا المزيد من الوقت. سوف نأخذ قطعة من الكبريت -تعرفون كيف يحترق الكبريت في الهواء- حسنًا، فلنضعه في الأكسجين، وسوف ترَوْن أنَّ كلَّ ما يحترق في الهواء -أيًّا ما كان- يحترق في الأكسجين بدرجة أشدَّ كثيرًا، وهو ما يقودك إلى التفكير في أنَّ الهواء المحيط بنا نفسه ربما يدين بكلِّ قدراتِه على الإشعال إلى هذا الغاز.



شكل رقم (24)

يحترق الكبريت الآن في الأكسجين بهدوءٍ شديدٍ، لكنَّكَ من غير الممكن أن تخطئ للحظة التفاعُلَ الشديد والزائد الذي يحدث عندما يحترق على هذا النحو، بدلًا من أن يحترق في الهواء

العادي فقط.

والآن أنا على وشك أن أريكم اشتعالَ مادة أخرى وهي الفسفور، من الأفضل لكم أن أقوم بإشعالها هنا بدلًا من أن تقوموا بذلك في المنزل؛ إنَّها مادةٌ شديدة الاشتعال إذا اشتعلتْ في الهواء، فماذا تتوقَّعون إذا ما اشتعلت في الأكسجين؟ أنا على وشك أن أريكم هذا الاشتعال، لكن في غير شدَّتِه الكاملة، إذ إنَّني إذا فعلتُ، فإننا سوف نفجِّر هذا الجهاز تمامًا تقريبًا، ربما أصنع شرخًا في البرطمان الآن، على الرغم من أنني لا أحب كسرَ الأشياء في إهمالٍ. تروْن كيف يشتعل في الهواء، لكن يا له من ضوءٍ وهَّاجٍ ينبعث منه عندما أضعه في الأكسجين! (يضع الفسفور المتَّقد في برطمان الأكسجين) ها أنتم تروْن الجسيمات الصلبة تخرج، ما يتسبَّب في جعل الاشتعال متوهجًا في لمعانٍ شديدٍ.

إلى هذا الحدِّ نكون قد اختبرنا قدرة الأكسجين هذه، والاشتعال الشديد الذي يحدِثه في وجود مواد أخرى. علينا الآن أن ننظر في أمرِه مع الهيدروجين، ونمنح ذلك الأمر المزيدَ من الوقت.

تعرفون أنَّنا عندما سمحنا للأكسجين والهيدروجين اللذيْن حصلنا عليهما من الماء بالامتزاج والاحتراق معًا، حصلنا على انفجارٍ صغيرٍ. تتذكرون كذلك أنَّنا عندما أحرقنا الأكسجين والهيدروجين المتدفقيْن معًا حصلنا على إضاءة ضئيلة جدًّا، لكنَّ الحرارة كانت عظيمةً. أوشك الآن أن أشعل الأكسجين والهيدروجين الممتزجين معًا في نسبة مكافئة لتلك الموجودة في الماء. ها هنا وعاءٌ يحتوي على حجمٍ من الأكسجين وحجميْن من الهيدروجين، لهذا المزيج الطبيعة نفسُها تمامًا التي للغاز الذي حصلنا عليه للتوِّ من البطارية الفلطائية، سوف يكون في إحراقِه في الحال في مرَّة واحدة إفراطٌ شديدٌ، لذلك رتَّبتُ نفخَ فقاعات صابون به، وإحراق تلك الفقاعات، وبذلك نرى عن طريق تجربة عامة أو اثنتين كيف يدعم هذا الأكسجين اشتعالَ الهيدروجين. أولًا وقبل كل شيء، سوف نرى إذا كنَّا نستطيع نفخَ فقاعة، (يجعل الغاز يتدفَّق عبر غليون نحو بعض رغاوي الصابون) لديَّ ها هنا فقاعة. أستقبل الفقاعات على يدي، وربما تظنُّون أنَّني أتصرَّف بغرابة في هذه التجربة، لكن ذلك من أجل أن أوضِّح لكم أنَّ علينا ألَّا نثق دائمًا في الضوضاء والأصوات، بل في الحقائق الفعلية بدلًا من ذلك. (يفجِّر فقاعةً على راحة يده) أخشى إشعالَ النار في فقاعة في نهاية الغليون، لأنَّ الانفجارَ سوف يمرُّ عبر البرطمان ويفجِّره إلى أجزاءٍ. سوف يتَّحد هذا الأكسجين إذن مع الهيدروجين -كما سوف تروْن الظاهرة وتستدلُّون من

الصوت- فهو على أهبة الاستعداد من أجل التفاعل، وسوف تُستهلك قدراته كلها في إبطاله لخواص الهيدروجين.

هكذا أظنُّ الآن أنَّكم قادرون على تلمُّس تاريخ الماء بأكملِه عن طريق الاستدلال بالأكسجين والهواء، وذلك مما سبق وقلناه. لماذا تُفكِّك قطعةٌ من البوتاسيوم الماءَ؟ لأنَّها تعثُر على الأكسجين في الماء. ما الذي يتحرَّر عندما أضع قطعة البوتاسيوم في الماء، كما سوف أفعل الآن من جديدٍ؟ إنَّها تحرِّر الهيدروجين، والهيدروجين يحترق، إلَّا أنَّ البوتاسيوم نفسَه يتَّحد بالأكسجين، إذ يأخذ الأكسجين بعيدًا عند تفكيكِه للماء. قد تقول إنَّ الماءَ نفسَه قد جاء من اشتعال الشمعة، ذلك الأكسجين الذي أخذه البوتاسيوم بعيدًا، كانت الشمعة قد أخذته من الهواء، وتحرَّر الهيدروجين عندما حصل البوتاسيوم على الأكسجين من الماء. وحتى لو أخذتُ قطعةً من الثلج ووضعتُ قطعةً من البوتاسيوم عليها، فسوف تجد أنَّ انجذابَ الهيدروجين للأكسجين على النحو الذي يؤدي إلى أن يُشعِلَ الثلجُ اللهبَ في البوتاسيوم بالتأكيد. أريكم هذا اليوم كي أوسِّع مداركم حيال هذه الأمور، وبذلك تدركون كيف تتغيَّر النتائجُ بصورة عظيمة تحت تأثير الظروف المحيطة، ها هو البوتاسيوم فوق الثلج، مولِّدًا تفاعلًا يشبه البركان نوعًا ما.

لقد أريتكم هذه التفاعلات الشاذَّة. وعندما نلتقي في المرة القادمة سوف أبيِّن لكم أنَّنا لا نصادف أيًّا من هذه الوقائع الغريبة والمفرطة، إذ إنَّه لا تحدث أيٌّ من هذه التفاعلات الغريبة والمؤذية عندما نحرق شمعة، ولا يقتصر الأمرُ على الشمعة فقط، بل لا تحدث أيضًا هذه التفاعلات الغريبة والمؤذية عندما نحرق الغازَ في شوارِعنا أو الوقود في مواقدِنا، وذلك طالما ألزمنا أنفسَنا بالقوانين التي وضعتها الطبيعة من أجل إرشادِنا.

المحاضرة الخامسة

الأكسجين موجود في الهواء – طبيعة الهواء المحيط بنا – خواصه – – نواتج أخرى تصدر عن الشمعة
حمض الكربونيك(41) – خواصه

(41) حمض الكربونيك: هو غاز ثاني أكسيد الكربون، وقد سُمي بهذا الاسم لأنَّه يكوِّن حمض الكربونيك عند اتحاده بالماء. (المترجم).

لقد رأينا أنَّ في إمكانِنا توليدَ الهيدروجين والأكسجين من الماء الذي نحصل عليه من الشمعة، تعرفون أنَّ الهيدروجين يأتي من الشمعة، وتعتقدون أنَّ الأكسجين يأتي من الهواء، غير أنَّه من حقِكم أن تسألوني إذن: «كيف لا يحرق الهواءُ والأكسجين الشمعةَ بالدرجة نفسِها رغم ذلك؟» لو حاولتم تذكُّر ما حدث عندما وضعتُ برطمانَ الأكسجين فوق الشمعة، فسوف تسترجعون أنَّ الاشتعالَ كان من نوعٍ مختلفٍ للغاية بالنسبة إلى ذلك الاشتعال الذي حدث في الهواء. والآن، لماذا تأتي الأمورُ على هذه الصورة؟ إنَّه سؤالٌ مهمٌّ جدًّا، وسوف أسعى إلى جعلِكم تفهمون، يرجع ذلك بصورة وثيقة إلى طبيعة الهواء المحيط، وهو الأمر شديدُ الأهمية لنا.

في حوزتِنا تجارِبُ عديدة تتعلَّق بالأكسجين، إلى جانب احتراق المواد. لقد رأيتم شمعة تحترق في الأكسجين أو في الهواء، لقد رأيتم الفسفورَ يحترق في الهواء أو في الأكسجين، كما رأيتم خُراطة الحديد تحترق في الأكسجين. إلَّا أنَّه في حوزِتنا تجاربَ أخرى إلى جانب هذه التجارب، وأوشك أن أشير إلى واحدة أو اثنتين منها وذلك من أجل المضي بقناعاتِكم وخبراتِكم قدمًا. لدينا ها هنا وعاءٌ يحتوي على الأكسجين، سوف أكشف عن وجودِه لكم، لو أخذتُ شظيةً صغيرةً، ووضعتُها في الأكسجين، تعرفون ما سوف يحدث من خلال الخبرة التي اكتسبتموها آخر مرة التقينا فيها؛ إذا وضعتُ الشظية داخل البرطمان، فسوف يدلُّكم ذلك ما إذا كان لدينا أكسجين هنا أم لا. نعم! لقد أثبتنا ذلك عن طريق الاشتعال. والآن ها هنا تجربة أخرى للأكسجين، وهي تجربةٌ مثيرةٌ ومفيدة. لدي ها هنا برطمانان ممتلئان بالغاز، بينهما شريحة كي تمنع امتزاجَهما، أبعِد الشريحة، ويزحف الغازان أحدهما على الآخر. تقولون: «ماذا يحدث؟ لا يؤديان معًا إلى مثل هذا الاشتعال الذي رأيناه في حالة الشمعة»، لكن فلتنظروا إلى الكيفية التي نستدلُّ بها على وجود الأكسجين عن طريق ارتباطه بهذه المادة الأخرى(42). يا له من غازٍ جميلِ اللون، ذلك الذي

حصلتُ عليه بهذه الطريقة، ليُظهِر لي وجودَ الأكسجين! يمكننا كذلك إجراء التجربة نفسها عن طريق خلط الهواء المعتاد بهذا الغاز الكاشف لوجود الأكسجين. ها هنا برطمانٌ يحتوي على هواءٍ (الهواء الذي كانت الشمعة لتحترق فيه)، وها هنا برطمانٌ أو زجاجةٌ تحتوي على الغاز الكاشف لوجود الأكسجين. أسمح لهما بالامتزاج معًا فوق الماء، وها أنتم تروْن النتيجة: تتطاير محتوياتُ الزجاجة التي تحتوي على الغاز الكشَّاف نحو برطمان الهواء، وتروْن أنَّني أحصل على تفاعُلٍ من النوع نفسِه مماثلٍ تمامًا لِمَا حدث من قبل، وهو ما يكشف لي عن وجود الأكسجين في الهواء، المادة نفسها التي حصلنا عليها بالفعل من الماء الناتج عن الشمعة. إلَّا أنَّه كيف لا يمكن للشمعة بعد ذلك إذن ألَّا تحترق في الهواء مثلما تحترق في الأكسجين؟ سوف نأتي إلى هذه النقطة في الحال. لديَّ برطمانان هنا ممتلئان بالغاز ولهما الطول نفسُه، ويبدو مظهرُهما للعين متماثلًا، وأنا لا أعرف حقًّا في الوقت الحاضر أيٌّ من هذين البرطمانين يحتوي على الأكسجين وأيُّهما يحتوي على الهواء، بالرغم من أنَّني أعرف أنَّهما قد مُلِئا من قبل بهذين الغازين. ها هنا الغاز الكاشف للأكسجين، وأنا على وشك العمل على البرطمانين كي أختبر ما إذا كان ثمَّة اختلافٌ بينهما من حيث صفة احمرار الغاز. سوف أحوِّل الغازَ الكاشف لوجود الأكسجين الآن نحو أحد البرطمانين وألاحظ ما يحدث؛ تروْن احمرارًا، وهو ما يُثبِت وجودَ الأكسجين. أمَّا الآن فسوف نختبر البرطمان الآخر، إلَّا أنَّه كما تروْن لا يحمرُّ بالوضوح نفسِه الذي حدث مع البرطمان الأول؛ وثمَّة شيءٌ مثيرٌ قد يحدث أيضًا بعد ذلك، إذا أخذتُ هذين الغازين ورججتهما مع الماء، فسوف يمتصُّ الماءُ الغازَ الأحمرَ، وإذا وضعتُ المزيدَ من الغاز الكاشف لوجود الأكسجين بعد ذلك، ورججتُ الغازَ المتكوِّن مع الماء مرة أخرى، فسوف يمتصُّ الماءُ المزيدَ، ويمكنني الاستمرار طالما كان هناك أيُّ أكسجين موجود كي يولِّد لي هذا التأثير. لو سمحتُ للهواء بالدخول، فلن يهمَّ ذلك، لكن في اللحظة التي أُعرِّض محتويات البرطمان للماء، يختفي الغازُ الأحمر، ويمكنني الاستمرار في ذلك واضعًا المزيد والمزيد من غاز اختبار وجود الأكسجين، حتى أصل إلى الحدِّ الذي لا يحمرُّ معه ما تبقَّى في البرطمان عند إضافة المادة التي تجعل الأكسجين والهواء يحمرَّان، لماذا حدث ذلك؟ من الوهلة الأولى تدركون أنَّ ذلك راجعٌ إلى وجود شيء آخر بخلاف الأكسجين قد تبقَّى. سوف أسمح للمزيدِ من الهواء بدخول البرطمان، وإذا

تحوَّل إلى الأحمر، سوف تعرفون أنَّ بعضَ ذلك الغاز الذي يسبِّب الاحمرارَ ما يزال موجودًا، وبالتالي فإنَّ ما حدث لم يكن بسبب الحاجة إلى تلك المادة التي تسبِّب الاحمرارَ.

(42) الغاز الذي كان موجودًا في أحد البرطمانين من أجل اختبار وجود الأكسجين هو أول أكسيد النيتروجين أو أكسيد النيتريك، وهو غازٌ عديمُ اللون يتحوَّل عند تفاعلِه مع الأكسجين إلى غازٍ أحمر بني اللون هو غاز ثاني أكسيد النيتروجين. (المترجم).

والآن، تبدوُون في فَهْم ما أوشك على قولِه؛ رأيتم أنَّني عندما حرقتُ الفسفورَ في البرطمان، كان هناك قدرٌ كبيرٌ من الغاز الذي لم يحترق، وذلك مع تكثُّف الدخان الناتج عن الفسفور وأكسجين الهواء، مثلما خلَّف هذا الغازُ الأحمرُ شيئًا ما دون أن يمس، في الحقيقة قد كان هناك هذا الغاز الذي تخلَّف، ولم يقدر الفسفور على مسِّه، ولم يقدر الغازُ المسبِّب للاحمرار على مسِّه، وهذا الذي تخلَّف ليس أكسجينًا، إلَّا أنَّه جزءٌ من الهواء المحيط.

هي وسيلةٌ إذن لتحليل الهواء إلى المادتيْن اللتيْن يتكوَّن منهما (الأكسجين الذي يُحرِق شموعَنا أو فسفورَنا أو أي شيء آخر، وهذه المادة الأخرى -النيتروجين- التي لن تحرق الشموعَ أو الفسفورَ أو أي شيء آخر)، يمثِّل هذا الجزء الآخر من الهواء النسبة الأكبر منه وبفارقٍ كبيرٍ، وهي مادة مثيرة جدًّا للفضول عندما نحاول فحصَها، ومع ذلك ربما تقولون إنَّها غير مثيرة كثيرًا. إنَّها غير مثيرة من بعض الوجوه بسبب أنَّها لا تبدي أيَّ تفاعلات اشتعالٍ لامعة؛ إذا ما اختبرتُ هذا الغاز بعصا إشعالٍ كما فعلتُ مع الأكسجين والهيدروجين، فإنَّه لا يحترق مثل الهيدروجين، ولا يجعل العصا تحترق مثل الأكسجين. حاول بأي وسيلة ممكنة، لا يقوم بأيٍّ من الأمريْن: لن تلهبه النيران، ولن يسمح للعصا بالاشتعال، إنَّه يُخمِد اشتعالَ كلِّ شيء، لا شيء يحترق فيه في الظروف المعتادة. لا رائحة له، ليس لاذعًا، ولا يذوب في الماء، ليس حامضًا ولا قلويًّا، فاترٌ تمامًا تجاه حواسنا ولا يدانيه شيءٌ في ذلك. وربما تقول: «إنَّه لا شيء، لا يستحق انتباه الكيمياء، ما الذي يفعله في الهواء؟» ومن ثَمَّ تتوالى نتائجُنا الدقيقة والجميلة التي تأتينا عن طريق فلسفة الملاحظة. افترض أنَّ لدينا في الهواء المحيط بنا أكسجين خالص بدلًا من النيتروجين أو مزيج النيتروجين والأكسجين، ما الذي سوف نصير إليه؟ تعرفون جيدًا أنَّ قطعةً من الحديد أُشعلت في برطمان أكسجين سوف تواصل الاحتراق إلى النهاية. عندما تنظرون إلى شبكة الموقد الحديدية، تصوَّر ما الذي قد تصل إليه الشبكة الحديدية إذا كان الهواء المحيط كله أكسجين؟ سوف تحترق الشبكة بشدة أكبر من احتراق الفحم، إذ إنَّ حديدَ الشبكة نفسَه أكثر قابلية للاشتعال من الفحم الذي نحرقه فيه. لو كان الهواء المحيط بنا مكوَّنًا بالكامل

من الأكسجين، فإنَّ النارَ التي تُوقَد في قلب القاطرة سوف تكون مماثلة للنار التي تُوقَد في مستودعٍ للوقود. يخفِّف النيتروجين من الاشتعال، ويجعله متوسطًا ومفيدًا لنا، وبالإضافة إلى ذلك يبدِّد العوادمَ بعيدًا، تلك العوادم التي رأيتُها تنتج عن الشمعة تتشتت خلال الهواء المحيط كلِّه، ويحملها النيتروجين والهواء بعيدًا إلى أماكن نحتاج إليها فيها من أجل تحقيق أهدافٍ عظيمة وجليلة لصالح الإنسان، وذلك من أجل الإبقاء على الحياة النباتية. هكذا نجد أنَّ النيتروجين يؤدي عملًا شديدَ الروعة، على الرغم من أنَّك قد تقول عند اختباره: «إنَّه فاترٌ تمامًا». يُعدُّ هذا النيتروجين في حالتِه المعتادة عنصرًا غيرَ نشطٍ، لا يمكن لأي شيء أقل من أشد القوى الكهربية أن يتسبَّب في جعل النيتروجين يرتبط مباشرة بالعنصر الآخر الموجود في الهواء المحيط، أو بأي شيء آخر في محيطه، وإن حدث ذلك فهو يحدث بدرجة متناهية الصغر؛ النيتروجين فاترٌ تمامًا ولذلك يمكننا أن نقول إنَّه مادة آمنة.

إلَّا أنَّه قبل أن أمضي بكَ نحو تلك النتيجة يجب أن أخبركَ عن الهواء المحيط (الغلاف الجوي) نفسِه، لقد كتبتُ في هذا المخطط مكونات المائة جزءٍ من أجزاء هواء الغلاف الجوي:

	Bulk.	Weight.
Oxygen, . .	20	22.3
Nitrogen, . .	80	77.7
	100	100.0

إنَّه تحليلٌ فعليٌّ للغلاف الجوي، طالما كنَّا معنيين بكمية الأكسجين وكمية النيتروجين الموجودة، نجد من خلال تحليلِنا أنَّ خمسة باينتات من الغلاف الجوي تحتوي على باينت واحدٍ فقط من الأكسجين، وأربعة باينتات أو أربعة أجزاء من النيتروجين، ذلك هو تحليلنا للغلاف الجوي. يتطلَّب الأمرُ كلَّ تلك الكمية من النيتروجين من أجل كبح جماح الأكسجين، بحيث يستطيع تموين الشمعة بالوقود بشكلٍ صحيحٍ، وبحيث يمدُّنا بغلافٍ جويٍّ يمكن لرئاتنا أن تتنفَّسه بصورة صحية وآمنة، إذ إنَّ جعْلَ الأكسجين مناسبًا لنا كي نتنفسه في ذات قدر أهمية جعل الهواء الجوي مناسبًا لإضرام النار وحرق الشمعة.

والآن فيما يتعلَّق بهذا الغلاف الجوي. أولًا وقبل كل شيء، دعوني أخبركم بوزنيّ هذين الغازين، يزن باينت من النيتروجين عشر قمحات وأربع أعشار القمحة، أو يزن القدم المكعب أوقية واحدة وسدس الأوقية، ذلك هو وزن النيتروجين. أمَّا الأكسجين فأثقل منه: يزن باينت من

الأكسجين إحدى عشرة قمحة وتسع أعشار القمحة، ويزن القدم المكعب أوقية وثلاثة أرباع الأوقية، ويزن باينت من الهواء قرابة عشر قمحات وسبع أعشار القمحة، ويزن القدم المكعب أوقية وخمس الأوقية.

شكل رقم (25)

لقد سألتموني في مناسباتٍ عديدة: «كيف تزن الغازات؟»، وأنا سعيدٌ للغاية أنَّكم فعلتم؛ وسوف أبيّن لكم الوسيلة. تتمُّ بطريقةٍ بسيطة وسهلة جدًّا؛ ها هنا ميزانٌ، وها هنا زجاجةٌ نحاسية، صُنِعت بحيث يكون وزنُها أخفَّ ما يمكن مع الحفاظ على المتانة اللازمة، خُرِطت على نحوٍ جيدٍ لتكون غير منفذة للهواء تمامًا، لها محبسٌ يمكننا فتحه وإغلاقه، وهو مفتوحٌ الآن، وهو ما يسمح للزجاجة أن تمتلئ حاليًّا بالهواء. لديَّ هنا ميزانٌ ضُبِط بدقة، أظنُّ أنَّ الزجاجة في وضعِها الحالي سوف تتزن قبالة الثقل الموجود على الجانب الآخر. وها هنا مضخة يمكننا عن طريقِها دفعُ الهواء إلى داخل هذه الزجاجة، وسوف ندفع مستعينين بها عددًا من الحجوم المحددة إلى داخل الزجاجة، ويمكننا قياس تلك الحجوم عن طريق المضخة (يضخُّ عشرين مقياسًا إلى داخل الزجاجة). سوف نُغلِق ذلك المحبس ونضعها على الميزان، انظر كيف تنخفض، إنَّها الآن أثقل مما كانت، ما الذي جعلها أثقل؟ إنَّه الهواء الذي دفعناه إلى الداخل عن طريق المضخة. لا توجد كمية أكبر من الهواء، لكنَّها الكمية نفسُها من هواءٍ أثقل، لأنَّنا دفعنا المزيدَ من الهواء إلى الداخل. وربما تكونون قد كوَّنتم فكرة معقولة في أذهانِكم عن وزن هذا الهواء، ها هنا برطمانٌ مملوءٌ بالماء، سوف نفتح ذلك الوعاءَ النحاسي في هذا البرطمان، ونسمح للهواء بالرجوع إلى حالتِه السابقة. كلُّ ما عليَّ فعله الآن هو إحكام ربط الوعاء والبرطمان معًا، ثم أفتح المحابس، وعندها تروْن عشرين ضخة الهواء، التي دفعتها إلى داخل الزجاجة (ما حدث

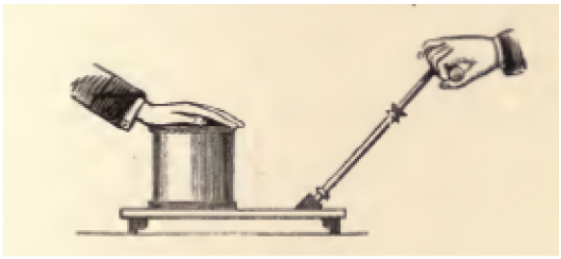
هو أنَّ الهواءَ الزائدَ اندفع من الوعاء النحاسي نحو البرطمان، وأزاح الماءَ لأسفل وحلَّ محلَّه وبالتالي فحجم الهواء الزائد الذي ضُخَّ إلى الوعاء النحاسي هو حجم الهواء الذي بات يشغل الآن الجزء من البرطمان الذي أزاح الماء منه)، ولكي نتأكَّد من أنَّنا على صوابٍ تمامًا فيما نقوم به، سوف نأخذ الزجاجة من جديدٍ إلى الميزان، وإذا عادل وزنُها الآن الثقلَ الأصلي الذي كان من البداية في الجهة الأخرى من الميزان، فسوف نكون على يقينٍ تامٍ من أنَّنا قمنا بتجربتنا على نحوٍ سليمٍ.

شكل رقم (26)

لقد تعادل الوزنان كما ترون، يمكننا معرفة وزن حجوم الهواء الزائدة التي دُفِعت إلى داخل الوعاء باستخدام هذه الطريقة، ويمكننا من خلال الوسيلة نفسها الجزم بأنَّ قدمًا مكعبًا من الهواء يزن أوقية وخمس الأوقية، إلَّا أنَّ هذه التجربة الصغيرة لا يمكنها بأي حالٍ توصيل الحقيقة الفعلية لهذا الموضوع إلى ذهنك. من الرائع أن تروْا كيف يتراكم الهواءُ عندما تصلون إلى الحجوم الأكبر، تزن هذه الكمية من الهواء (القدم المكعب) أوقية واحدة وخمس الأوقية. ماذا تظن بخصوص محتوى ذلك الصندوق بالأعلى هناك؟ يزن الهواء بداخل ذلك الصندوق رطلًا – رطلًا كاملًا. ولقد حسبت وزن الهواء في هذه الحجرة، لن يمكنكم بالكاد تصوُّره، لكنَّه يزيد عن الطنِّ. هكذا تتصاعد الأوزانُ سريعًا، ووجود الغلاف الجوي مهِّم للغاية، وكذلك وجود الأكسجين والنيتروجين فيه، وقيامه بنقل الأشياء من هنا وهناك ومن مكانٍ إلى الآخر، وحمل الأبخرة الضارة إلى أماكن تكون نافعة فيها بدلًا من أن تكون مؤذية.

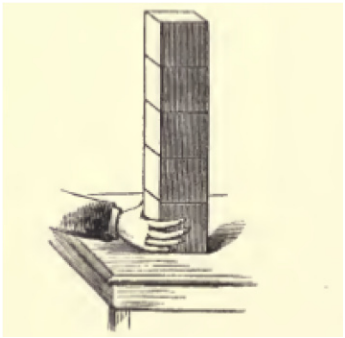
والآن بعد أن قدمتُ لكم هذا التوضيحَ البسيطَ فيما يتعلَّق بوزن الهواء، اسمحوا لي أن أريكم بعضَ تبعات ذلك، ولكم الحق في معرفتِها، لأنَّكم لن تفهموا الكثيرَ من دونِها. هل تتذكرون تجربة

من هذا النوع؟ هل رأيتموها من قبل؟ افرضوا أنَّني أخذتُ مضخةً تشبه نوعًا ما تلك التي كانت معي منذ فترة قليلة واستخدمتُها لدفع الهواء داخل الزجاجة، وافرضوا أنَّني وضعتُها بطريقة تجعل من الممكن تعريض يدي لها: تتحرك يدي في الهواء بسهولة شديدة كأنَّ لا شيء هناك كي أشعر بمقاومتِه، كما يمكنني تحريك يدي في الهواء المحيط بالسرعة الكافية بالكاد كي أتأكد من عدم وجود شيء من المقاومة.



شكل رقم (27)

إلَّا أنَّني عندما أضع يدي هنا (على فوهة مضخة الهواء، بعد أن أفرغتُ المضخة من الهواء) ترَوْن ما يحدث. لماذا تلتصق يدي بهذا المكان، بل إنَّني قادرٌ على رفع المضخة وتحريكِها ويدي في هذا الوضع؟ وانظروا! كيف لا يمكنني بالكاد إبعاد يدي؟ لماذا الأمور على هذه الصورة؟ إنَّه وزنُ الهواء، وزنُ الهواء بالأعلى. لديَّ تجربةٌ أخرى هنا، أظنُّ أنَّها سوف تفسِّر لكم المزيدَ عن ذلك. عندما يُضَخُّ الماء من تحت الكيس المشدود على هذا الكوب، سوف ترَوْن التأثيرَ في شكلٍ آخر؛ الكيس المشدود على قمة الكوب مسطح تمامًا في الوقت الحالي، لكنني سوف أضغط المضخة ضغطة خفيفة، والآن انظروا إلى الكيس، انظروا كيف انخفض إلى الأسفل، كيف انحنى إلى الداخل! سوف ترَوْن الكيسَ ينخفض نحو الداخل أكثر وأكثر، إلى أن يتمزَّق في النهاية -كما أتوقَّع- تحت تأثير الهواء المحيط الذي يضغط عليه، (يتمزَّق الكيسُ في النهاية مصحوبًا بانفجارٍ عالٍ).



شكل رقم (28)

الآن، فإنَّ ذلك حدث بالكامل بفعل الهواء الذي يضغط عليه، ويمكنكَ تفهُّم كيفية حدوث ذلك بسهولة؛ تقف الجسيمات المحتشدة في الهواء المحيط بعضها فوق بعض، مثلما تفعل هذه المكعبات الخمس، يمكنكَ بسهولة إدراك أنَّ أربعة مكعبات من الخمسة تستقرُّ على ذلك الموجود في الأسفل، وإذا أخذتُ ذلك المكعب بعيدًا فإنَّ المكعبات الأخرى سوف تهبط إلى الأسفل، هكذا هو الحال بالنسبة إلى الهواء المحيط في الغلاف الجوي؛ يبقى الغازُ في الأعلى بسبب الهواء الموجود بالأسفل، وعندما يُضخ الغاز بعيدًا من تحت ذلك الهواء بالأعلى، يحدث التغيير الذي رأيتموه عندما وضعتُ يدي على مضخة الهواء، وهو ما رأيتموه في حالة الكيس، والذي سوف تروْنه على نحوٍ أفضل هنا. لقد ربطتُ فوق هذا البرطمان صحيفة من المطاط، والآن أوشك على إبعاد الهواء من داخل البرطمان، وإذا نظرتم إلى الكيس المطاطي -الذي يعمل كحاجزٍ بين الهواء في الأسفل والهواء في الأعلى- سوف تروْن كيف يفصح الضغط عن نفسِه عندما أقوم بالضخِّ. انظر كيف يتحرك (يتحرك إلى الداخل)، يمكنني فعليًّا وضع يدي داخل البرطمان، يتسبَّب التأثيرُ العظيمُ والقوي للهواء بالأعلى في هذه النتيجة، يا له من عرضٍ جميلٍ يكشف عن هذه الحالة المثيرة!

وها هنا شيءٌ يمكنكم العبث به بعد أن أنتهي من المحاضرة اليوم، إنَّه جهازٌ صغيرٌ، مكونٌ من نصفين كرويين نحاسيين، ينطبق أحدهما على الآخر بشكلٍ وثيقٍ ويرتبطان معًا، يتصل بهما ماسورة ومحبسٌ، يمكننا تفريغ الهواء من داخلِهما عن طريق هذه الماسورة. على الرغم من أنَّ فصلَ النصفين الكرويين أحدهما عن الآخر سهلٌ عندما يكون الهواء بالداخل، إلَّا أنَّكم سوف تروْن أنَّه عند تفريغ الهواء رويدًا رويدًا، لن تقدر قوى أي اثنين منكم على نزعهما أحدهما من الآخر. تتحمَّل كلُّ بوصة مربعة من مساحة سطح هذا الوعاء وزنًا يقدَّر بخمسة عشر رطلًا -أو نحو ذلك- عند تفريغ الهواء منه، ويمكنكم اختبار قواكم حاليًّا في اكتشاف إذا ما كنتم قادرين على مغالبة ضغط الغلاف الجوي.

ها هنا شيءٌ آخر بديعٌ جدًّا، لعبة أطفال عبارة عن شفاطٍ صغيرٍ يعمل بتفريغ الهواء، أدخل عليه الفيلسوف بعضَ التحسينات فقط (مخروط مطاطي، يُضغط إلى الحائط وعندها يُفرَّغ الهواءُ بين المخروط والحائط، يلتصق المخروط بالحائط). نحن كناشئة صغارٍ في السنِّ لدينا الحقُّ

الكامل في جعل اللعب يدخل إلى الفلسفة، طالما نُحوِّل الفلسفة إلى ألعابٍ في عصرنا الحالي. ها هنا شفاطٌ صغيرٌ، مصنوعٌ من المطاط فقط، إذا ضغطته نحو المنضدة، ترى أنَّه يلتصق في الحال، لماذا يلتصق؟ يمكنني زحزحته وجعله ينزلق فوق سطح الطاولة، ومع ذلك إذا حاولتُ رفعَه، يبدو كأنَّ المنضدة سوف ترتفع معه. يمكنني زحزحته وجعله ينزلق بسهولة من مكانٍ إلى مكانٍ، إلَّا أنَّه لا ينخلع إلَّا عندما أجيء به إلى طرف المنضدة؛ يبقى في مكانِه بفعل ضغط الهواء الجوي من فوقِه فقط. لدينا اثنان من هذه الشفاطات المخروطية، إذا ضغطت أحدهما إلى الآخر سوف ترى كيف يلتصقان معًا بشدة. وبالفعل قد نستخدمهما فيما أُعدَّا له، قد نجعلهما يلتصقان بالنافذة أو بالحوائط، حيث سيبقيان ملتصقين طوال الليل، ويمكنكم أن تستخدموهما في تعليق أي شيء ترغبون فيه. ومع ذلك أظنُّ أنَّ في وسعي أن أريكم تجارب، يمكنكم إجراؤها في البيت، وعلى ذلك فها هنا تجربة بديعة جدًّا لتوضيح ضغط الهواء الجوي المحيط، ها هنا قدحُ ماءٍ، افترض أنَّني طلبتُ منكَ أن تقلب هذا القدح رأسًا على عقب، من ثمَّ فإنَّ الماءَ لا يجب أن يسقط من القدح، وهو لا يبقى كذلك داخل القدح بسبب يدك، لكن بفعل الهواء الجوي فقط. هل يمكنكم القيام بذلك؟ فلتأخذوا كوبًا مملوءًا تمامًا بالماء أو نصفَ مملوءٍ، ولتضعوا بطاقة مسطحة على قمتِه، اقلبوه رأسًا على عقب، ثم انظروا ماذا يحدث للبطاقة وللماء؛ لا يمكن للهواء أن يدخل لأنَّ الماءَ يبقيه في الخارج بسبب التجاذب الشَّعري.

أظنُّ أنَّكم بذلك قد أدركتم بشكلٍ صحيحٍ مفهومَ ما يمكنكم أن تطلقوا عليه مادية الهواء، وعندما أخبركم أنَّ الصندوقَ يحتوي على رطلٍ منه، وأنَّ هذه الحجرة تحتوي على ما يزيد على الطنِّ منه، سوف تبدؤون في إدراك أنَّ الهواءَ شيءٌ له شأنٌ. سوف أقوم بتجربة أخرى كي أقنعكم بهذه المقاومة الإيجابية، لدينا تجربة بندقية تفريغ الهواء الجميلة، تلك البندقية المصنوعة بشكلٍ جيدٍ جدًّا وسهلٍ جدًّا من أنبوبة فارغة أو أسطوانة أو شيء من هذا القبيل، كما تعرفون. نأخذ شريحة من البطاطس أو التفاح على سبيل المثال، ونأخذ الأنبوبة ثم نقطع بلية صغيرة، مثلما فعلتُ الآن، وأدفعها نحو أحد الطرفين، أُحكم إغلاق هذا الطرف بها، والآن آخذ قطعة أخرى وأضعها بالداخل؛ سوف تحبس الهواء الموجود بداخل الأنبوبة بشكلٍ كاملٍ وتامٍّ من أجل هدفنا، والآن أجد أنَّه من المستحيل بشكلٍ مطلقٍ دفعُ تلك البلية الصغيرة للاقتراب من تلك البلية الأخرى مهما كانت قوتي التي أحاول أن أدفعها بها، من المستحيل فعلُ ذلك. يمكنني ضغط

الهواء إلى حدٍّ معين، إلَّا أنَّني إذا واصلتُ الضغطَ، فإنَّ الهواءَ المحصورَ سوف يدفع تلك البلية الموجودة في المقدمة خارجًا، بقوة تشبه تلك القوة التي للبارود، وذلك قبل أن تصل البلية المدفوعة إلى تلك الأخرى بكثيرٍ، وذلك لأنَّ البارودَ يعتمد في جزءٍ منه على الفعل نفسِه، الذي ترى له مثالًا هنا.

لقد رأيتُ في يومٍ قريبٍ سابقٍ تجربة أسعدتني كثيرًا، إذ ظننتُ أنَّها سوف تخدم أهدافي هنا، (أظنُّ أنَّه قد كان عليَّ الإمساك عن الحديث لأربع أو خمس دقائق قبل البدء في هذه التجربة، لأنها تعتمد في نجاحِها على رئتيَّ)، أتوقَّع أنِّي قادرٌ على دفع هذه البيضة للخروج من أحد هذين الكوبين إلى الآخر بواسطة قوة نَفَسي، وذلك لو وجَّهتُ الهواءَ بشكلٍ صحيحٍ، لو فشلتُ ولا أعِد بالنجاح، فإنَّ ذلك يرجع في جزءٍ كبيرٍ منه إلى أنَّني كنتُ أتحدث أكثر مما ينبغي كي أُنجِح التجربة.

(أجرى المحاضر التجربة ونجح في نفخ البيضة من كوبٍ إلى الآخر).

تروْن أنَّ الهواءَ الذي أنفخه يمضي نحو الأسفل بين البيضة والكوب، ويتسبَّب في انفجارٍ تحت البيضة، وبذلك يكون قادرًا على رفع شيءٍ ثقيلٍ، إذ إنَّ البيضة الكاملة هي شيءٌ ثقيلٌ جدًّا كي يقدر الهواء على حمله. إذا أردتَ أو رغبتَ في القيام بالتجربة، فمن الأفضل أن تسلق البيضة كي تصبح صلبة تمامًا أولًا، ومن ثمَّ تحاول بأمانٍ نفخَها من كوبٍ إلى الآخر، دون أن تولي العملية عناية خاصة.

لقد أبقيتكم بما يكفي بصحبة هذه الخاصية المتعلقة بوزن الهواء، غير أنَّ ثمَّة شيئًا آخر أودُّ أن آتي على ذكره، رأيتم كيف كنتُ قادرًا في بندقية ضغط الهواء تلك على دفع قطعة البطاطس الثانية نصف بوصة أو ثلاثة أرباع البوصة، قبل أن تبدأ القطعة الأولى في التحرُّك، وهو الأمر الناتج عن مرونة الهواء -مثلما حدث تمامًا عندما ضغطتُ جسيمات الهواء في الزجاجة النحاسية بواسطة المضخة- الآن، فإنَّ هذا يعتمد على خاصية رائعة في الهواء، ألا وهي مرونته، وأرغب في توضيح ذلك لكم جيدًا. إذا جئتُ بأي شيء يحبس الهواء جيدًا مثل هذا الغشاء، وهو غشاءٌ يمكن أن ينكمش ويتمدَّد كي يوفر لنا مقياسًا لمرونة الهواء، ويحبس جزءًا محددًا من الهواء في هذا الكيس، ومن ثم إذا تخلصنا من ضغط الهواء خارج هذا الكيس -مثلما كنَّا نضع ضغطًا من الخارج في حالاتٍ أخرى- إذا تخلَّصنا من الضغط في الخارج، سوف تروْن

كيف يتمدَّد ويتمدَّد، أكبر وأكبر، حتى يملأ هذا البرطمان جرسي الشكل، وهو ما يوضح لكم خاصية رائعة للهواء، مرونته، قابليته للانضغاط، وقابليته للتمدُّد، داخل حدودٍ كبيرة غير مسبوقة، وهو الأمر الضروري جدًّا من أجل الغايات والخدمات التي يحققها لاقتصاديات الخَلق.

سوف نتحوَّل الآن نحو جزءٍ آخر مهمٍ جدًّا في موضوعنا، تتذكرون أنَّنا درسنا الشمعة من حيث احتراقها، ووجدنا أنَّ ذلك الاحتراق يتسبَّب في نواتجَ متنوعة. لدينا من النواتج -كما تعرفون- السخام والماء وشيء ما آخر، لم تختبروه بعد، لقد جمعنا الماءَ لكنَّنا تركنا بقية الأشياء كي تمضي في الهواء؛ دعنا الآن ندرس بعضَ هذه النواتج الأخرى.

ها هنا تجربة، أظنُّ أنَّها سوف تساعدكم جزئيًّا في هذا الأمر. سوف نضع شمعتنا هناك، ونضع فوقها مدخنة، وهكذا أظن أنَّ شمعتي سوف تواصل الاحتراق، لأنَّ ممرَّ الهواء مفتوحٌ في الأسفل والأعلى. أولًا وقبل كل شيء، تروْن ظهورَ الرطوبة –تلك التي تعرفون عنها إنَّه بخار الماء الناتج عن الشمعة نتيجة تفاعل الهواء مع هيدروجينها- إلَّا أنَّه إلى جانب ذلك، ثمة شيءٌ آخر يخرج من الأعلى، ليس رطوبة -ليس ماءً- فهو لا يتكثَّف، ومع ذلك له خاصية فريدة للغاية في النهاية؛ سوف تجد أنَّ الهواءَ الخارج من أعلى مدخنتنا كافٍ تقريبًا لإخماد الشعلة التي أمسك بها، وإذا وضعتُ الشعلة في مواجهة التيار جيدًا، فإنه سوف يخدمها تمامًا. سوف تقولون، هكذا يجب أن تمضي الأمور، وأظنُّ أنَّكم ينبغي أن تفكروا في الأمر على هذا النحو، لأنَّ النيتروجين لا يدعم الاشتعال، ويمكنه إخماد الشمعة، إذ إنَّ الشمعة لن تحترق في النيتروجين، لكن ألا يوجد هناك شيءٌ آخر بخلاف النيتروجين؟

شكل رقم (29)

عليَّ الآن استباق الأمور، وهو ما يعني أنَّ عليَّ استعمال معرفتي من أجل تزويدكم بالوسائل التي نوظِّفها من أجل التيقن من هذه الأشياء، وفحص مثل هذه الغازات. سوف آخذ زجاجة فارغة -ها هنا واحدة- وإذا أمسكتُ بها فوق هذه المدخنة، سوف يرسل اشتعال الشمعة بالأسفل نواتجَه إلى داخل الزجاجة بالأعلى، وسرعان ما سوف نكتشف أنَّ هذه الزجاجة لا تحتوي فقط على هواءٍ رديء من حيث الاشتعال، إذ يطفئ عصا الإشعال التي توضع فيه، بل له خواصٌّ أخرى كذلك.

دعني آخذ القليلَ من الجير الحي وأصبُّ عليه بعضَ الماء المعتاد (الماء المعتاد تمامًا سوف يقوم بالتفاعُل)، سوف أُقلِّبهما لبرهة، ثم أصبُّهما على ورقة ترشيحٍ في قمعٍ، وسرعان ما سوف يكون لدينا ماءٌ صافٍ يترقرق إلى الزجاجة بالأسفل، مثلما تجري الأمور هنا. لدي الكثيرُ من هذا الماء في زجاجة أخرى، إلَّا أنَّني مع ذلك راغبٌ في استخدام ماء الجير الذي أُعدَّ أمامكم، وهو ما سيمكنكم من رؤية استخداماته. إذا أخذتُ بعضًا من ماء الجير الجميل الصافي هذا، وصببته في هذا البرطمان، الذي جمعنا فيه الهواءَ الصادرَ عن الشمعة، سوف ترى تغيُّرًا يحدث. هل ترى كيف تحوَّل الماءُ إلى سائلٍ حليبي؟ لاحظ أنَّ ذلك ما كان ليحدث في حالة الهواء فقط. ها هنا زجاجة مليئة بالهواء، وإذا وضعتُ فيها القليلَ من ماء الجير، ما كان الأكسجين أو النيتروجين أو أي شيء آخر في هذه الكمية من الهواء ليُحدِث أيَّ تغييرٍ في ماء الجير؛ يبقى الماء صافيًا تمامًا، ولن يسفر أيُّ رجٍّ لتلك الكمية من ماء الجير مع تلك الكمية من الهواء في حالته المعتادة عن أي تغييرٍ، لكنَّنا لو أخذنا هذه الزجاجة المحتوية على ماء الجير وأمسكنا بها بحيث تصل إليها النواتج العامة الصادرة عن الشمعة، فسرعان ما سوف يصبح الماء بها حليبيًّا. لدينا هنا الطباشير -المكوَّن من الجير الذي نستخدمه في صناعة ماء الجير- متَّحدًا مع شيء ما جاء من الشمعة، إنَّ هذا الناتجَ الآخر هو ما نبحث عنه، وهو ما أرغب في أن أخبركم عنه اليوم. إنَّها مادةٌ تفصح عن نفسِها لنا عن طريق هذا التفاعل، وهذا التفاعُل لا يشبه تفاعُل ماء الجير مع الأكسجين أو النيتروجين أو الماء ذاتِه، لكنَّه تفاعلٌ مع شيءٍ جديدٍ بالنسبة لنا، جاء من الشمعة. وهكذا نجد هذا المسحوق الأبيض، الناتج عن ماء الجير والبخار القادم من الشمعة، يبدو لنا شبيهًا للغاية بالمُبيِّض أو بالطباشير، وعندما نفحصه، لا يبرهن عن كونه مادة التبييض أو الطباشير نفسها تمامًا. وهو ما يقودنا أو كان قد قادنا إلى رصد الوقائع المختلفة لهذه التجربة،

وتعقب هذا الإنتاج للطباشير وصولًا إلى أسبابِه المتنوعة، كي نحصل على معرفة صحيحة بطبيعة اشتعال الشمعة، كي نكتشف أنَّ هذه المادة الصادرة عن الشمعة هي نفسها تلك المادة الصادرة عن المعوجة، إذا وضعتَ فيها بعض الطباشير مع قليلٍ من الرطوبة وسخنتها سوف تجد أنَّ المادة التي تصدر عن الشمعة هي نفسها التي تصدر عن المعوجة تحت هذه الظروف.

إلَّا أنَّ لدينا وسائلَ أفضل للحصول على هذه المادة، وبكمية أكبر، من أجل التيقُّن من ماهية خواصها العامة. نجد هذه المادة في وفرة كبيرة جدًّا في عديدٍ من الحالات، رغم أنَّك قد تتوقَّع أنَّ احتمالات العثور عليها في هذه الحالات أقل القليل. يحتوي الحجر الجيري على قدرٍ كبيرٍ من هذا الغاز الذي يصدر عن الشمعة والذي ندعوه «حمض الكربونيك». يحتوي الطباشير والصدف والمرجان على كمية كبيرة من هذا الغاز المثير، نجده ثابتًا في هذه الأحجار، ولهذا السبب أُطلِق عليه د. بلاك اسم «الغاز الثابت»، إذ نجده في هذه الأشياء الثابتة مثل الرخام والطباشير. أُطلِق عليه اسم الهواء الثابت، لأنَّه يفقد خواصَّه كهواءٍ ويتَّخذ حالة الأجسام الصلبة. يمكننا الحصول على هذا الهواء بسهولة من الرخام. ها هنا برطمانٌ يحتوي على القليل من حمض المورياتيك (الهيدروكلوريك)، وها هنا عصا إشعال، إذا وضعتها في البرطمان، فسوف تكشف عن وجود الهواء المعتاد فقط. وها أنتم تروْن أنَّه ما من شيء سوى هواءٍ خالصٍ حتى القعر، البرطمان مملوءٌ به. وها هو الرخام(43) -رخامٌ جميلٌ جدًّا ومتميزٌ- إذا وضعتُ قطع الرخام هذه في البرطمان، يحدث غليانٌ عظيمٌ واضحٌ. ما يتصاعد ليس بخارًا، إنه غازٌ، والآن إذا فحصتُ البرطمان باستخدام شمعة، فسوف أحصل على الأثر نفسه الذي حصلتُ عليه بالضبط مع عصا الإشعال، عندما وضعتُها أمام الهواء المتصاعد من نهاية المدخنة التي وضعناها فوق شمعة محترقة، إنَّه التفاعل نفسه، وتتسبَّب فيه المادة نفسها الصادرة عن الشمعة، ويمكننا بهذه الطريقة الحصول على حمض الكربونيك في وفرة عظيمة؛ لقد ملأنا البرطمان بالكامل تقريبًا. نجد كذلك أنَّ هذا الغازَ ليس موجودًا في الرخام فقط، ها هنا وعاءٌ، وضعتُ فيه المادة المبيِّضة/ الطباشير، كنَّا قد غسلناه بالماء وخلَّصناه من جسيماته الأكثر خشونة وبالتالي يمكننا إعطاؤه إلى عامل الجبس كي يستخدمه كمادة تبييض (جص). ها هنا برطمانٌ أكبر يحتوي على مادة التبييض هذه وماء، ولدي هنا حمض كبريتيك قوي، وهو الحمض الذي قد تستخدمونه إذا كنتم لتقوموا بهذه التجارب (عند استخدام هذا الحمض مع الحجر الجيري، تنتج مادة غير قابلة

للذوبان، بينما ينتج عن استخدام حمض المورياتيك (الهيدروكلوريك) مادة قابلة للذوبان في الماء، وبالتالي لا تكسب الماء قوامًا على درجة من السماكة)، وقد تتساءلون عن سبب استخدامي معدات على هذه الشاكلة من أجل أن أريكم هذه التجربة؛ أفعل ذلك وأقوم بهذه التجربة مستخدمًا مقادير كبيرة لأنَّكم قد تعيدونها مستخدمين مقادير أقل. سوف نحصل هنا على التفاعل نفسه، وأنا أُخلِّق في هذا البرطمان الكبير حمض الكربونيك، وله الطبيعة والخواص نفسها التي للغاز الذي حصلنا عليه من اشتعال الشمعة في الهواء، ولا يهم اختلاف الوسيلتين اللتين حضَّرنا من خلالهما حمضَ الكربونيك، إذ إنَّه هو الغاز نفسه بغض النظر عن الطريقة التي حضَّرناه بها.

(43) الرخام: مركب من حمض الكربونيك والجير، ولأنَّ حمض المورياتيك (الهيدروكلوريك) هو الحمض الأقوى من بين الحمضيْن، فإنَّه يحلُّ محلَّ حمض الكربونيك، الذي يتصاعد في صورة غاز ويبقى مورات الجير أو كلوريد الكالسيوم.

والآن نمضي نحو التجربة التالية من التجارب المتعلقة بهذا الغاز، ما طبيعته؟ ها هنا أحد الأوعية الممتلئة بالغاز، سوف نختبره من حيث الاشتعال كما فعلنا مع العديدة من الغازات الأخرى؛ تروْن أنَّه لا يشتعل ولا يساعد على الاشتعال، ونعرف كذلك أنَّه لا يذوب بقدرٍ كبيرٍ في الماء، لأنَّنا جمعناه فوق سطح الماء بسهولة جدًّا. تعرفون أنَّه يتفاعل مع ماء الجير ويصير أبيضَ اللون عندما يلامسه، وعندما يصير أبيض بتلك الطريقة، يصير أحد مكونات كربونات الجير أو الحجر الجيري.

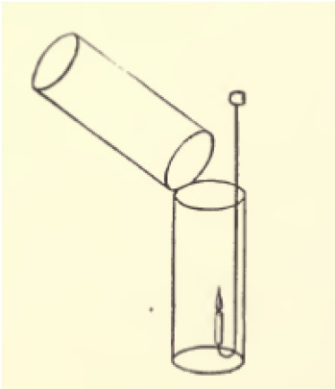
عليَّ الآن أن أُبيِّن لكم أنَّه يذوب بالفعل قليلًا في الماء، وهو بذلك لا يشبه الأكسجين والهيدروجين في هذا الأمر. لدي هنا جهازٌ يمكننا عن طريقه الحصول على هذا المحلول، في الجزء السفلي من هذا الجهاز رخامٌ وحمضٌ، وفي الجزء العلوي ماءٌ باردٌ. الصمامات في وضعٍ يسمح للغاز بالحركة من جزءٍ إلى الآخر. الآن سوف أبدأ التفاعُل، ويمكنكم أن تروْا الغاز يخرج في صورة فقاعات خلال الماء، مثلما كان يفعل طوال الليل، وبمرور هذا الوقت كله، سوف نجد أنَّ هذه المادة (الغاز) قد ذابت في الماء. إذا أخذت كوبًا وحصلت به على قدرٍ من هذا الماء، أجد طعمه في الفم حامضيًّا بعض الشيء؛ لقد امتزج بحمض الكربونيك، وإذا وضعتُ القليلَ من ماء الجير فيه، فسوف يفصح عن وجودِه من خلال هذا الاختبار، سوف يتسبَّب هذا الماء في تعكير ماء الجير، وجعله أبيض اللون، وهو الدليل على وجود حمض الكربونيك.

هذا الغاز ثقيلٌ جدًّا، إنَّه أثقل من الهواء المحيط (هواء الغلاف الجوي). لقد وضعتُ وزن هذا الغاز هناك في أسفل هذا الجدول، ومعه أوزان بقية الغازات التي درسناها، وذلك من أجل أن

نقارن وزنه بها.

	Pint.	Cubic Foot.
Hydrogen, . . .	$\frac{8}{4}$ grains.	$\frac{1}{17}$ ounce.
Oxygen, . . .	$11\frac{5}{10}$,,	$1\frac{1}{3}$,,
Nitrogen, . . .	$10\frac{4}{10}$,,	$1\frac{1}{8}$,,
Air, . . .	$10\frac{7}{10}$,,	$1\frac{1}{8}$,,
Carbonic acid, . .	$16\frac{1}{2}$,,	$1\frac{5}{12}$,,

يزن البانيت منه ١٦ قمحة وثُلث القمحة، ويزن القدم المكعب منه أوقية وتسعة أعشار الأوقية، أي ما يقارب الأوقيتين. يمكنكم أن تروْا عن طريق العديد من التجارب أنَّه غازٌ ثقيلٌ. افترضوا أنَّني أخذتُ كوبًا لا يحتوي على أي شيءٍ سوى الهواء، ثم حاولتُ صبَّ بعض حمض الكربونيك من هذا الوعاء الذي يحتوي عليه في ذلك الكوب، أتساءل إذا كان أيُّ قدرٍ منه قد وجد طريقه إلى داخلِه أم لا، لا يمكنني أن أخبركم من الشكل الظاهري، لكن في إمكاني أن أخبركم بهذه الطريقة (يُدخِل عصا الإشعال).



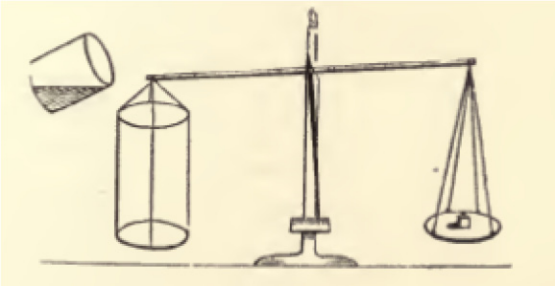
شكل رقم (30)

نعم، ها أنتم ذا تروْن (تنطفئ عصا الإشعال)، وإذا اختبرتُ وجودَه باستخدام ماء الجير، فسوف أكتشف وجودَه عن طريق هذه التجربة أيضًا، سوف آخذ هذا الدلو الصغير، وأجعله يتدلَّى داخل بئر حمض الكربونيك -تتكوَّن لدينا في كثير من الأحيان آبار حمض كربونيك(44)- والآن إذا كان ثمَّة أيُّ حمض كربونيك، فلا بُدَّ أن أكون قد حصلتُ عليه حاليًّا، وسوف يكون في هذا الدلو، الذي سوف نفحصه باستخدام عصا الاشتعال. وها أنتم ذا ترون أنَّه ممتلئٌ بحمض الكربونيك.

(44) لأنَّ غازّ ثاني أكسيد الكربون (حمض الكربونيك) أثقل من الهواء الجوي يزداد وجوده في أي حفرة عميقة أو بئرٍ عميقٍ، وقد كانوا يختبرون جودة الهواء في تلك الحفر، وما إذا كان يحتوي على الأكسجين أم أن أغلبه من غاز ثاني أكسيد الكربون

بالحصول على بعضٍ من غاز تلك الحفرة في دلوٍ، واختباره بشمعة مشتعلة،وما إذا كان سيحافظ على اشتعالِها أم سيتسبَّب في إطفائها، أو كانوا يختبرونه مباشرة باستخدام الشمعة وجعلها تتدلَّى داخل البئر. (المترجم).

ثمَّة تجربة أخرى سوف أريكم عن طريقها مقدار وزنه. لديَّ برطمانٌ هنا معلَّق في أحد طرفي ميزان (الميزان الآن في حالة توازن)، إلَّا أنَّني عندما أصبُّ حمضَ الكربونيك هذا في البرطمان في الجانب الذي يحتوي على الهواء حاليًّا، سوف تجد أنَّه يهبط إلى الأسفل في الحال، بسبب حمض الكربونيك الذي صببته فيه. والآن، إذا اختبرتُ هذا البرطمان باستخدام عصا إشعال مشتعلة، فسوف أجد أنَّ حمض الكربونيك سقط داخله، ولم تعُد محتويات البرطمان قادرة على دعم الاشتعال. إذا نفختُ فقاعات صابون والتي سوف تكون ممتلئة بالهواء بالطبع، ثم تركتُها تسقط في برطمان حمض الكربونيك هذا، فإنَّها سوف تطفو.



شكل رقم (31)

إلَّا أنَّني أولًا وقبل كل شيء سوف آخذ واحدة من هذه البالونات الصغيرة الممتلئة بالهواء، إنَّني لستُ على يقينٍ تامٍّ من موضع حمض الكربونيك، سوف نحاول استكشاف العمق، ونرى المستوى الذي يوجد عنده. ها أنتم ذا تروْن هذا الكيس يطفو على حمض الكربونيك، وإذا أطلقتُ المزيدَ من حمض الكربونيك، فإنَّ الكيس يرتفع إلى الأعلى. ها هو يخرج (البرطمان امتلأ تقريبًا)، والآن سوف أرى إذا كان بإمكاني نفخُ فقاعات صابون، وجعلها تطفو بالطريقة نفسها، (ينفخ المحاضر فقاعات صابون ويسمح لها بالسقوط داخل برطمان حمض الكربونيك، وعندها تطفو في منتصف المسافة)، إنها تطفو كما كان البالون يطفو، ويرجع ذلك إلى وزن حمض الكربونيك الأثقل من الهواء. والآن بعد أن شرحتُ لكم تاريخَ حمض الكربونيك، من حيث صدوره عن الشمعة، وخواصه الفيزيائية ووزنه، عندما نلتقي في المرة القادمة، سوف أريكم مما يتكوَّن، ومن أين يحصل على عناصرِه.

المحاضرة السادسة

الكربون أو الفحم – غاز الفحم – التنفس
ومشابهته لاحتراق الشمعة – الخلاصة

شرَّفتني سيدةٌ بحضورِها هذه المحاضرات، لكنَّها ما زالت تأسرني بعطفِها، إذ أرسلتْ إليَّ هاتين الشمعتين من اليابان، وإنَّني أفترض أنَّهما مصنوعتان من تلك المادة التي كنتُ أشير إليها في المحاضرة السابقة. انظروا، إنَّهما مزخرفتان أكثر كثيرًا من الشموع الفرنسية، وأفترض -من خلال مظهريهما- أنَّهما شمعتان من شموع حياة الرفاهية. ثمَّة أمرٌ خاصٌّ جدًّا يتعلَّق بهما وجديرٌ بالملاحظة –تحديدًا هذا الفتيل المفرَّغ من الداخل– هذا الأمر الخاص الجميل الذي طوَّره أرجاند في المصباح، الذي أثبت قيمة كبيرة. قد أقول إلى أولئك الذين يتلقَّوْن هدايا مثل هذه من الشرق، هذه الخامات تتغيَّر تدريجيًّا، وهو ما يضفي على سطحِها مظهرًا بليدًا وميتًا، إلَّا أنَّهم قد يستعيدون بسهولة جمالها الأصلي إذا حُكَّ السطحُ بقطعة قماشٍ نظيفة أو بمنديلٍ حريري، وذلك من أجل إزالة التغضُّن والخشونة، سوف يعيد ذلك جمال الألوان. لقد حككتُ واحدة من هاتين الشمعتين، وها أنتم تروْن الفارقَ بينها وبين الشمعة الأخرى التي لم تُلَمَّع، إلَّا أنَّه من الممكن استعادة بهائها كذلك بالطريقة نفسِها. لاحظوا كذلك أنَّ هذه الشموع من اليابان توضع في قوالبَ تجعلها أكثر مخروطية من تلك الشموع الموجودة في هذا الجزء من العالم.

لقد حدَّثتكم في آخر مرة التقينا فيها عن حمض الكربونيك، وجدنا عن طريق تجربة ماء الجير ما يلي: عندما نستقبل البخارَ الصادر عن قمة الشمعة أو المصباح في زجاجاتٍ، ثم نختبره بمحلول ماء الجير هذا (شرحتُ لكم تركيبه ويمكنكم تحضيره بأنفسِكم) نحصل على تلك العكارة البيضاء، التي اتَّضح أنَّها مادة كلسية، مثل الأصداف والمرجان والكثيرِ من الصخور والمعادن في الأرض. إلَّا أنَّني لم أحدِّثكم بعد بشكلٍ كاملٍ وواضحٍ عن التاريخ الكيميائي لهذه المادة -حمض الكربونيك- إذ إنَّنا حصلنا عليها من الشمعة، وعلينا الآن استكمال ذلك الموضوع. لقد رأينا النواتج الصادرة عن الشمعة وعرفنا طبيعتَها. تتبعنا الماء إلى عناصره، والآن علينا أن نرى من أين تأتي عناصر حمض الكربونيك، الصادر عن الشمعة. سوف تكشف لنا القليلُ من التجارِب عن هذا. تتذكَّرون أنَّه عندما تحترق شمعة بشكلٍ رديء، يصدر عنها دخانٌ، لكنَّها إذا احترقت

بصورة جيدة فلن نجد أيَّ دخانٍ. وتعرفون أنَّ لمعان الشمعة راجعٌ إلى هذا الدخان، الذي يصير مشتعلًا. ها هنا تجرِبة تثبت هذا: يصدر عن الشمعة ضوءٌ جميلٌ طوال فترة بقاء الدخان في الشعلة واشتعاله هناك، ولا يظهر لنا في صورة جسيماتٍ سوداء أبدًا. سوف أُشعِل بعضَ الوقود، الذي يشتعل في إفراطٍ، سوف يوفي القليلُ من التربنتين على إسفنجة بالغرض. تروْن الدخان يتصاعد منه، ويطفو في الهواء في كمياتٍ كبيرة، ولتتذكَّروا الآن أنَّ حمضَ الكربونيك الذي نحصل عليه من الشمعة هو من مثل ذلك الدخان نفسِه. كي أوضِّح ذلك لكم، سوف أضع هذا التربنتين المحترق على إسفنجة داخل قارورة، لدينا فيها الكثيرُ من الأكسجين، وتروْن الآن أنَّ الدخانَ قد استُهلِك كله. هذا هو الجزء الأول من التجربة، والآن ماذا بعد ذلك؟ إنَّ الكربونَ الذي رأيته متصاعدًا في الهواء من لهب التربنتين يحترق بالكامل الآن في هذا الأكسجين، نجد أنَّه يحترق بالكامل فعليًّا في هذه التجربة العنيفة والمؤقتة، ومنها نصل إلى الاستنتاج نفسِه والنتيجة نفسِها اللذيْن حصلنا عليهما من اشتعال الشمعة. أمَّا لماذا أجريتُ التجربة بهذه الطريقة، فذلك فقط لأنَّني أحاول جعلَ خطوات عروضنا التوضيحية بسيطة جدًّا، وبالتالي لن تفقدوا للحظة قطارَ الاستدلال، لو أوليتموني انتباهكم فقط. يأتي كلُّ الكربون الذي يحترق في الأكسجين أو في الهواء في صورة حمض كربونيك، بينما تكشف لكم تلك الجسيمات التي لم تحترق كثيرًا عن المادة الثانية الموجودة في حمض الكربونيك –أي الكربون– تلك المادة التي تجعل الشعلة لامعة جدًّا وذلك عندما يكون ثمَّة وفرةٌ من الهواء، غير أنَّه يُلقى بها في إفراطٍ عندما لا يكون ثمَّة هواءٌ كافٍ لحرقِها.

عليَّ كذلك أن أشرحَ لكم بشكلٍ أكثر وضوحًا تاريخَ الكربون والأكسجين، من حيث اتحادهما لتكوين حمض الكربونيك؛ أنتم الآن أقدر على فهم ذلك، ولقد أعددتُ ثلاث أو أربع تجارِب من أجل الشرح والتوضيح. يمتلئ هذا البرطمان بالأكسجين، وها هنا بعضُ الكربون موضوعٌ في بوتقة، من أجل أن نقوم بتسخينه إلى درجة الاحمرار. أحافظ على البرطمان جافًّا، وأغامر بأن أعطيكم نتيجة معيبة بدرجة ما، وذلك كي أجعلَ التجربة أكثر لمعانًا. أوشك على وضع الكربون والأكسجين معًا، ها هو الكربون (فحم عادي مسحوق)، سوف تروْن بالمرة الطريقة التي يحترق بها في الهواء (سامحًا لبعض الفحم المسخَّن المحمر أن يسقط من البوتقة). أوشك الآن على حرقِه في غاز الأكسجين، ومطالعة الفارق. سوف يبدو لكم أنَّ ثمَّة فارقًا واسعًا إذا كان قد احترق

مصحوبًا بشعلة، لكنَّ ذلك لم يحدث. تحترق كلُّ قطعة صغيرة من الفحم على هيئة شرارة، وبينما تحترق يصدر حمض الكربونيك. أرغب في إجراء هاتين التجربتين أو الثلاث تجارِب من أجل توضيح ما أودُّ الإسهابَ فيه ليتأكَّد أكثر وأكثر مع كلِّ خطوة، وهو أنَّ الكربونَ يحترق على هذه الصورة، لا في صورة شعلة.

سوف آخذ قطعة كبيرة نسبيًّا من الكربون كي أحرقها، بدلًا من أن آخذ العديدَ من الجسيمات الصغيرة، وهو ما سيمكِّنكم من رؤية الشكل والحجم وتعقُّب الآثار بلا ريبٍ. ها هنا برطمان الأكسجين، وها هنا قطعة الفحم، وقد ثبَّت إليها قطعة صغيرة من الخشب، يمكنني إشعالُ النار فيها، وبالتالي أبدأ الاحتراق، وهو ما لن يكون في استطاعتي القيامُ به من دونها. تروْن الفحمَ يحترق الآن، إلَّا أنَّه لا يحترق على هيئة شعلة (أو إذا كان ثمة شعلةٌ فإنَّها أصغر ما يمكن، وأنا أعرف السبب، يرجع الأمرُ إلى تكوُّن القليل من أكسيد الكربون بالقرب من سطح الكربون). يتواصل الاحتراق ببطءٍ كما تروْن، مُوَلدًا حمض الكربونيك عن طريق اتحاد هذا الكربون أو الفحم (يشير الاصطلاحان إلى الشيء نفسِه) مع الأكسجين. لديَّ هنا قطعةٌ أخرى من الفحم، قطعةٌ من القشرة تتطاير منها الجسيمات وتنفجر وهي تحترق، إذ إنَّ من خواصِّها ذلك. يمكننا تحت تأثير الحرارة تمزيق كتلة الكربون إلى جسيماتٍ تتطاير مبتعدة. وما يزال كلُّ جسيمٍ يحترق بالطريقة المميزة نفسها، يشبه في ذلك الكتلة الكاملة: تحترق الجسيمات مثلما يحترق الفحم، ولا تحترق على هيئة شعلة. تشاهدون العديدَ من الاشتعالات الصغيرة الجارية، إلَّا أنَّه ما من أثرٍ لأي شعلة. لا أعرف تجربة لتوضيح أنَّ الكربونَ يحترق في صورة شررٍ أكثر دقة ومهارة من هذه التجربة.

إذن ها هو حمض الكربونيك يتكوَّن من عنصريه يُنتَج في الحال، وإذا اختبرناه بواسطة ماء الجير سوف ترى أنَّ لدينا المادة نفسَها التي وصفتها لكم. إذا وضعنا ٦ أوزان من الكربون (سواء جئنا به من شعلة شمعة أو من مسحوق الفحم) مع ١٦ وزنًا من الأكسجين، نحصل على ٢٢ وزنًا حمض الكربونيك. وكما رأينا في المرة السابقة، يتَّحد ٢٢ وزنًا من حمض الكربونيك مع ٢٨ وزنًا من الجير، منتجًا كربونات الجير المعتادة. إذا فحصتَ صدفة محار، ووزنتَ محتوياتها، سوف تجد أنَّ كلَّ ٥٠ وزنًا منها عبارة عن ٦ أوزان من الكربون و١٦ وزنًا من الأكسجين متحدين مع ٢٨ وزنًا من الجير. إلَّا أنَّني لا أرغب في أن أشغلك بهذه الحقائق

البسيطة؛ إنَّها الفلسفة العامة للأمر، ويمكننا الآن أن نمضي فيه. انظر إلى السلاسة التي يتبدَّد بها الكربون (مشيرًا إلى كتلة الفحم التي تحترق بهدوءٍ في برطمان الأكسجين)، قد تقول إنَّ الفحم ربما يتبدَّد بالفعل في الهواء من حولِه، وإذا كان فحمًا نقيًّا تمامًا -وفي إمكاننا تحضيره بسهولة- فلن يتبقى منه شيءٌ.

عندما نطهر قطعة من الكربون وننقيها بشكلٍ مثالي، لا يتبقَّى أيُّ رمادٍ، يحترق الكربون وهو في هيئة صلبة كثيفة، إذ إنَّ الحرارة وحدها لا يمكنها تغيير صلابته. ورغم أنَّه يتبدَّد في صورة بخار، إلَّا أنَّ ذلك البخار لا يتكثَّف إلى الحالة الصلبة أو السائلة في الظروف العادية. أما الأغرب أنَّ الأكسجين لا يغير في كتلته بحلِّ الكربون فيه، إنَّ الكتلة التي كانت في البداية، هي نفسُها تمامًا التي ننتهي إليها، لقد تحوَّلت إلى حمض كربونيك فقط.

ثمَّة تجربةٌ أخرى، عليَّ أن أخبركم عنها قبل أن تألفوا الطبيعة العامة لحمض الكربونيك تمامًا، بما أنَّ حمض الكربونيك هو مركبٌ يتكوَّن من الكربون والأكسجين، إذن فبإمكاننا تحليله إلى عنصريه. يمكننا تحليل حمض الكربونيك إلى الجزيئين المكونين له، مثلما فعلنا مع الماء. لعلَّ أسهلَ وأسرعَ الطرق جعلُ حمض الكربونيك يتفاعل مع مادة، تستطيع جذب الأكسجين منه، وترك الكربون من خلفِها. تتذكرون عندما جئتُ بالبوتاسيوم ووضعتُه في الماء أو الثلج، ورأيتم أنَّه يستطيع نزعَ الأكسجين من الهيدروجين، والآن، افترضوا أنَّنا نقوم بشيءٍ مماثلٍ هنا مع حمض الكربونيك هذا. تعرفون أنَّ حمضَ الكربونيك هو غازٌ ثقيلٌ، لن أختبره بواسطة ماء الجير، إذ إنَّه قد يتداخل مع نتائج تجاربنا اللاحقة، لكنَّني أظنُّ أنَّ ثقلَ الغاز وقدرتَه على إطفاء اللهب كافيان من أجل هدفنا. أُدخل شعلة في الغاز، وسوف تروْن إذا كانت ستنطفئ أم لا؛ تروْن أنَّ اللهبَ انطفأ. في الحقيقة، قد يخمد الغازُ الفسفورَ، الذي تعرفون قدرته على الاشتعال بشدة، ها هنا قطعة من الفسفور سُخِّنت إلى درجة عالية أضعها في الغاز، وتلاحظون أنَّ اللهبَ انطفأ، إلَّا أنَّني سوف آخذ النارَ مرة أخرى إلى الهواء، لأنَّها سوف تعاود الاشتعال هناك. والآن، اسمحوا لي أن آخذ قطعة من البوتاسيوم، إذ إنَّها مادة يمكنها العمل على حمض الكربونيك حتى في درجات الحرارة العادية، إلَّا أنَّها لا تكفي للوفاء بهدفنا الحالي، لأنَّها سرعان ما تتغطَّى بغطاءٍ واقٍ، غير أنَّنا إذا سخَّنَّاها حتى درجة الاحتراق في الهواء -إذ إنَّ لنا الحقَّ التام في ذلك مثلما فعلنا مع الفسفور- فسوف ترى أنَّه في إمكانِها الاحتراق في حمض الكربونيك. وإذا احترقت،

فإنَّها سوف تحترق نازعة الأكسجين، ومن ثَمَّ سوف ترى ما الذي تبقيه من خلفِها. إذن أنا على وشك إحراق هذا البوتاسيوم في حمض الكربونيك كدليلٍ على وجود الأكسجين في حمض الكربونيك. (ينفجر البوتاسيوم في المرحلة الأولى لعملية التسخين). نحصل أحيانًا على قطعة غير ملائمة من البوتاسيوم، تنفجر عندما تحترق. سوف آخذ قطعة أخرى، والآن بعد أن سخناها، أضعها داخل البرطمان، وتلاحظون أنَّها تحترق في حمض الكربونيك، هي لا تحترق بالكفاءة نفسِها التي تحترق بها في الهواء، لأنَّ الأكسجين في حمض الكربونيك موجودٌ في صورة مركب، إلَّا أنَّها تحترق، وتنزع الأكسجين. إذا وضعتَ هذا البوتاسيوم الآن في الماء، فسوف تجد أنَّه إلى جانب «البوتاس» المتكوّن (لا حاجة إلى أن تشغل نفسك به)، تنتج كمية من الكربون. لقد أجريتُ التجربة هنا بطريقة متسرعة جدًّا، لكنَّني أؤكِّد لكم أنَّه إذا كنتُ أجريتها في حرصٍ وكرَّستُ يومًا من أجلِها بدلًا من خمس دقائق، كنَّا لنحصل على كلِّ الكمية السليمة من الفحم وقد تبقَّت في الملعقة، أو في المكان حيث كان البوتاسيوم يحترق، ومن ثَمَّ لن يكون هناك أدنى شكٍّ بخصوص النتيجة. إذن، ها هنا الكربون الذي حصلنا عليه من حمض الكربونيك، في صورة مادة سوداء معتادة، ومن ثم صار لديكم الدليلُ الكاملُ على طبيعة حمض الكربونيك وأنَّه يتكوَّن من الكربون والأكسجين، والآن أقول لكم إنَّه عندما يحترق الكربون تحت الظروف العادية، ينتج حمض الكربونيك.

افترضوا أنَّني أخذتُ هذه القطعة من الخشب، ووضعتُها في زجاجة مع ماء الجير، ربما أرجُّ قطعة الخشب مع ماء الجير ومع الهواء المحيط بهما لأي مدة أرغب فيها، وسوف يبقى ماء الجير صافيًا رغم ذلك، كما ترون، لكن افرضوا أنَّني حرقتُ قطعة الخشب في هواء تلك الزجاجة، تعرفون أنَّني سوف أحصل عند ذلك على ماءٍ بالتأكيد. هل أحصل على حمض الكربونيك؟ (يجري التجربة ويتعكَّر الماءُ) وها هو ذا؛ يمكننا أن نقول إنَّ تلك العكارة هي كربونات الجير، تلك التي تنتج من حمض الكربونيك، ذلك الحمض الذي تكوَّن بالتأكيد من الكربون الذي يأتي من الخشب أو من الشمعة أو من أي شيء آخر. لقد أجريتم أنتم أنفسكم بالفعل تجربة بديعة جدًّا عدة مرات، يمكنكم عن طريقها رؤية الكربون في الخشب، إذا جئتم بقطعة من الخشب، وحرقتموها جزئيًّا، ثم نفختم فيها لتطفئوها، يتبقَّى لديكم الكربون. ثمَّة أشياءٌ لا تُظهِر الكربونَ بهذه الطريقة. لا تكشف الشمعة عنه، لكنَّها تحتوي على الكربون. ها هنا أيضًا برطمان يحتوي على غاز الفحم،

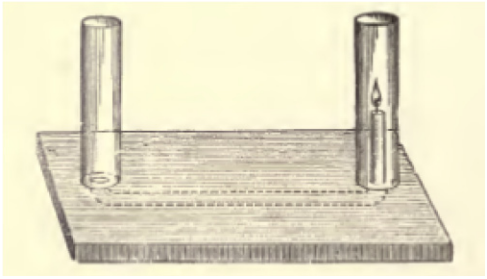
والذي يُوَلِّد حمضَ الكربونيك بغزارة. لا ترى الكربون، لكن في إمكاننا إظهاره لكم في الحال؛ سوف أشعله، وطالما ثمَّة غازٌ في هذه الأسطوانة، فسوف يواصل الاحتراق. لا ترَوْن أيَّ كربون، لكنَّكم ترَوْن شعلة، ولأنَّه يبدو لامعًا، يقودكم ذلك إلى تخمين أنَّ ثمة كربونًا في الشعلة. إلَّا أنَّني سوف أكشف لكم عنه بعملية أخرى. لديَّ قدرٌ من الغاز نفسِه في وعاءٍ آخر، ممزوجًا بمادة سوف تحرق الهيدروجين الموجود في الغاز، لكنَّها لن تحرق الكربون. سوف أشعلهما بواسطة عصا إشعال ملتهبة، وسوف تلاحظون استهلاكَ الهيدروجين، من دون الكربون، الذي يتخلَّف في صورة دخانٍ أسودَ كثيفٍ. آمل أنكم تعلمتم عن طريق هذه التجارب الثلاث أو الأربع التعرُّف على الكربون عند وجودِه، وفَهْم ماهية نواتج الاشتعال، عندما يحترق غازٌ أو موادٌ أخرى بالكامل في الهواء.

وقبل أن نغادر موضوعَ الكربون، دعوْنا نقوم بالقليلِ من التجارب، ودعونا نسجل بعضَ الملاحظات الرائعة حول الشروط المتعلقة بالاشتعال المعتاد. لقد أوضحتُ لكم أنَّ الكربونَ خلال الاحتراق يحترق وهو في هيئة صلبة، ومع ذلك لاحظتم أنَّه بعد الاحتراق يتخلَّى عن طبيعته الصلبة. يمكن للقليل جدًّا من الوقود أن يتفاعل على هذا النحو، في الحقيقة يمكن فقط لذلك المصدر العظيم للوقود -السلسلة الكربونية، الفحم وفحم الحطب والخشب- أن يفعل ذلك، لا أعرف أيَّ مادة أولية أخرى بخلاف الكربون تحترق وَفْق هذه الشروط. وإذا لم يكن الأمر على هذه الصورة، فما الذي كان ليحدث لنا؟ افترضوا أنَّ الوقودَ كلَّه كان مثل الحديد، عندما يحترق، يتحوَّل إلى مادة صلبة. لن يكون لدينا حينها مثل هذا الاشتعال الذي ترَوْنه في الموقد. ها هنا كذلك نوعٌ آخر من الوقود الذي يحترق جيدًا جدًّا -مثل الكربون إن لم يكن أفضل- يحترق جيدًا بحيث يحصل على النار تلقائيًّا عندما يكون في الهواء، كما ترَوْن (يكسر زجاجةً ممتلئةً برصاصٍ تلقائي الاشتعال(45)). هذه المادة هي رصاصٌ، وها أنتم ترَوْن إلى أي مدى هي قابلة للاشتعال، إنَّها مجزَّأة كثيرًا للغاية، وهي تشبه كومةَ فحمٍ في موقدٍ، يمكن للهواء أن يصل إلى سطحِها وإلى داخلِها، وبذلك تحترق. لكن لماذا لا تحترق بتلك الطريقة الآن عندما تكون في كتلة؟ (يُفرِّغ محتويات الأنبوبة في كومة على طبقٍ من الحديد)، لأنَّ الهواءَ لا يمكنه الوصول إليها ببساطة. وعلى الرغم من أنَّه في إمكانِها إنتاج حرارة عظيمة، نحتاج إليها في أفرانِنا وتحت غلاياتنا، إلَّا أنَّ ما يتكوَّن نتيجة الاحتراق، لا يذهب بعيدًا عن ذلك الجزء الذي يبقى غير محترقٍ في الأسفل،

وبالتالي فإنَّ ذلك الجزءَ يُمنَع من الوصول إلى الهواء المحيط، ولا يُستهلَك. إلى أي مدى يختلف ذلك عن الكربون؟ يحترق الكربون بالطريقة نفسِها التي يحترق بها هذا الرصاص، ولذلك يمدُّ بنارٍ شديدة في الأفران، أو في أي مكانٍ نختار أن نحرقه فيه، إلَّا أنَّ المادة الناتجة عن الاشتعال تمضي مبتعدة، وتترك الكربون المتخلِّف نقيًّا. أريتكم كيف يتبدَّد الكربونُ في الهواء، بحيث لا يترك من خلفِه أيَّ رمادٍ، بينما لدينا هنا (مشيرًا إلى الكومة تلقائية الاشتعال) رمادٌ أكثر من الوقود، لأنَّه أثقلُ بسبب كمية الأكسجين التي اتَّحد معها. وهكذا تروْن الفارقَ بين الكربون وبين الرصاص أو الحديد، وذلك إذا اخترنا الحديدَ كمصدرٍ للضوء أو الحرارة. إذا جاءت نواتج احتراق الكربون في صورة مادة صلبة، كنتم ستجدون الغرفة وقد امتلأت بمادة معتمة، مثلما يكون الحال مع الفسفور، إلَّا أنَّ الكربونَ عندما يحترق، يذهب كلُّ شيءٍ نحو الهواء المحيط والغلاف الجوي، أمَّا هو فيبقى على حالِه الثابت، بلا تغييرٍ تقريبًا مثلما كان قبلَ الاشتعال. إلَّا أنَّه يصير عقب ذلك في صورة غازٍ، من الصعب جدًّا إنتاجه في حالة صلبة أو سائلة (غير أننا نجحنا في ذلك).

المواد تلقائية الاشتعال: هي موادّ تحترق إذا تعرَّضت للهواء عند درجة حرارة ٥٥٤° مئوية أو أقل. (المترجم) (45).

أمَّا الآن، فعليَّ المضي بكَ صوب جانبٍ مثيرٍ جدًّا في موضوعنا، صوب العلاقة بين اشتعال الشمعة وذلك النوع الحي من الاشتعال الذي يحدث داخلنا. في داخل كلِّ واحدٍ منَّا، ثمَّة عمليةٌ حية للاشتعال، تمضي على نحوٍ مماثلٍ جدًّا لذلك الاشتعال الذي يحدث للشمعة. إنَّ هذا الأمرَ ليس صحيحًا بالمعنى الشعري فقط – العلاقة بين حياة الإنسان وعصا الإشعال. وإذا تابعتم ما سوف أقوله، أظنَّ أنَّ في إمكاني توضيحَ هذا الأمر. لقد اخترعتُ جهازًا صغيرًا، سرعان ما سوف نقيمه أمامكم من أجل توضيح هذه العلاقة. ها هنا لوحٌ محفورٌ فيه أخدود، يمكنني إغلاق الأخدود عند قمتِه باستخدام غطاءٍ صغيرٍ. يمكنني استكمال الأخدود الذي يشبه القناة الآن بواسطة أنبوبة زجاجية تصل بين كلٍّ من نهايتي الأخدود، وهكذا يصير ثمَّة ممرٌّ حرٌّ. افترضوا أنَّني أخذتُ عصا إشعالٍ أو شمعة (يمكننا الآن أن نستخدم كلمة «شمعة» بحرية أكبر، إذ صرنا نفهم ما الذي تعنيه). نضع عصا الإشعال في إحدى أنبوبتي الاختبار، سوف تواصل الاحتراق جيدًا جدًّا كما تروْن. تلاحظون أنَّ الهواءَ الذي يغذي الشعلة يمضي إلى الأسفل عبر النهاية الأولى للممرّ، ثم يمضي عبر الأنبوبة الأفقية ويصعد في الأنبوبة الموجودة عند النهاية الأخرى، حيث توجد عصا الإشعال.



شكل رقم (32)

إذا أغلقتُ الفتحة التي يدخل الهواء منها، أوقف الاشتعال، كما تلاحظون، أوقف إمدادات الهواء، ويستتبع ذلك انطفاء عصا الإشعال. والآن ما الذي تظنونه بخصوص هذه الحقيقة؟ في تجربة سابقة، أريتكم الهواء يمضي من شمعة تحترق إلى واحدة أخرى، إذا أخذتُ الهواءَ الصادرَ عن شمعة أخرى وأرسلتُه إلى الأسفل نحو هذه الأنبوبة من خلال ترتيباتٍ معقدة، فلا بُدَّ أنَّ ذلك سوف يُطفئ هذه الشمعة المحترقة. لكن ما الذي سوف تقولونه عندما أخبركم أن نَفَسي سوف يطفئ تلك الشمعة؟ لا أقصد أنَّ ذلك سوف يحدث نتيجة نفخي في الشمعة حتى تنطفئ، لكني أقصد ببساطة أنَّ طبيعة نَفَسي لا تسمح للشمعة بالاحتراق فيه. الآن سوف أحكم فمي إلى الفتحة ومن دون أن أنفخ في اللهبِ بأي حالٍ، لن أسمح لأيِّ هواءٍ بدخول الأنبوبة باستثناء ما يخرج من فمي. تروْن النتيجة؛ لم أنفخ في الشمعة حتى انطفأت، كلُّ ما هنالك أنَّني سمحتُ لهواء الزفير فقط أن يمرَّ عبر الفتحة، وكانت النتيجة أنَّ اللهبَ انطفأ لأنَّه يحتاج إلى الأكسجين، إذ إنَّه ما من سببٍ آخر. لقد حدث ذلك لا لشيء إلَّا لأنَّ رئتيّ قد انتزعتْ الأكسجين من الهواء، ولم يعُد هناك المزيدُ منه كي يعزِّز اشتعال الشمعة. أظنُّ أنَّه من الجميل جدًّا لو نظرنا في أمر الوقت الذي يتطلَّبه الأمر قبل أن يصل إلى الشمعة ذلك الهواء الرديء، الذي كنتُ أطلقته داخل هذا الجزء من الجهاز. تواصل الشمعة الاحتراق في البداية، إلَّا أنَّه بمجرد مرور الوقت الكافي الذي يسمح للهواء بالوصول، تنطفئ الشمعة.

والآن سوف أريكم تجربة أخرى، لأنَّها تتعلَّق بجانبٍ مهمٍّ من جوانب فلسفتنا. ها هنا برطمانٌ يحتوي على هواءٍ طازجٍ، إذ يمكنكم أن تروْا ذلك عن طريق اختبار توفيره للشروط اللازمة لاحتراق الشمعة. أقرِّبه مني، وأجعل فمي فوقه مستعينًا بأنبوبٍ، ومن ثَمَّ يصير في إمكاني تنفُّس الهواء. أستطيع شفطَ الهواء (لو افترضنا أنَّ الفلينة محكمة تمامًا) وذلك إذا كان الأنبوبُ أعلى من سطح الماء، على النحو الذي تروْنه.

شكل رقم (33)

أسحبُ الهواءَ إلى رئتيَّ، وأطلقه مرة أخرى في البرطمان، من ثمَّ يمكننا اختباره، والتعرُّف على النتيجة. تلاحظون أنَّني أسحب الهواءَ في البداية، ثم أطلقه مرة ثانية، وهو ما يكشف عنه صعودُ وهبوطُ الماء. والآن أضع عصا إشعالٍ في الهواء، وسوف تدركون الحالة التي صار إليها، إذ ينطفئ اللهب. كما تروْن فإنَّ تنفُّسًا واحدًا أفسدَ هذا الهواءَ بالكامل، ولذلك فلا داعي لمحاولة تنفُّسه مرة ثانية. والآن تفهمون أساسَ رداءة العديد من التجهيزات داخل بيوت الطبقات الأفقر، والتي بسببها يُعاد نفث الهواء مرة تِلْوَ الأخرى، إذ تكون هناك حاجة لوسائل تهوية مناسبة، تكفي لإحراز نتائجَ جيدة. تروْن كيف يصير الهواءُ رديئًا عن طريق التنفُّس فيه لمرة واحدة، وبذلك يمكنكم أن تفهموا بسهولة مدى أهمية الهواء الطلق لنا.

كي نمضي في هذا إلى ما هو أبعد، دعونا نرى ما سوف يحدث مع ماء الجير. ها هنا دورقٌ يحتوي على القليلِ من ماء الجير، وهو مجهزٌ بأنبوبتين على النحو الذي يسمح بالوصول إلى الهواءِ في الداخل، ومن ثمَّ يكون في استطاعتِنا التثبت من التأثير الذي يبذله عليه الهواء (A عبر)، المتنفس أو غير المتنفس. يمكنني بالتأكيد إمَّا أن أسحبَ الهواء في الجو إلى الداخل وبالتالي أجعل الهواءَ الذي يغذي رئتيَّ يمرُّ عبر ماء الجير، أو يمكنني أن أدفعَ الهواءَ من رئتيَّ التي تمرُّ إلى القاع، وبذلك أريكم تأثيرَه على ماء الجير. سوف (B)، إلى خارجهما عبر الأنبوبة تلاحظون أنَّني مهما سحبتُ من الهواء الخارجي إلى داخل ماء الجير ومنه إلى رئتيَّ، فلن أُؤثِّر في الماء بأي شكلٍ؛ لن يؤدي إلى تعكير ماء الجير. لكنني لو أطلقتُ الهواء من رئتيَّ عبر ماء الجير لعدَّة مراتٍ متتابعة، انظروا كيف يصير الماءُ عكرًا وحليبيًّا، وهو ما يُظهِر تأثيرَ هواء

الزفير عليه. والآن بدأتم تعرفون أنَّ الهواء الذي أفسدناه بتنفُّسنا، أفسده حمض الكربونيك، إذ إنَّكم تروْنه هنا عندما يلامس ماء الجير.

شكل رقم (34)

لديَّ زجاجتان هنا، تحتوي واحدة على ماء الجير والأخرى على ماءٍ عادي، وأنابيب تمرُّ عبر الزجاجتين وتربط بينهما، الجهازُ غير مصنوعٍ بدقة أبدًا، إلَّا أنَّه مفيدٌ على الرغم من ذلك. إذا جئتَ بهاتين الزجاجتين وأخذتَ شهيقًا هنا وأخرجتَ زفيرًا هناك، فسوف يمنع تجهيز الأنابيب على هذا النحو رجوعَ الهواء، سوف يذهب الهواءُ الداخل إلى فمي ورئتيَّ، والهواء الخارج مني سوف يمرُّ عبر ماء الجير، وبالتالي يمكنني مواصلة التنفُّس والقيام بالتجربة، طبيعتها محسنة جدًّا، ونتائجها جيدة جدًّا. سوف تلاحظون أنَّ الهواءَ الجيد لم يفعل شيئًا بماء الجير، وفي الحالة الثانية لم يصل شيء إلى ماء الجير بخلاف ما تنفَّسته، وها أنتم تروْن الفارق بين المرتين.

شكل رقم (35)

دعونا الآن نتعمَّق في الأمر قليلًا. ما هي هذه العملية التي تحدث داخلِنا، ولا يمكننا البقاء من دونِها ليلًا أو نهارًا، التي وهبها لنا خالقُ كلِّ الأشياء، بحيث تكون مستقلة عن كلِّ إرادة لنا؟ إذا

كبحنا تنفُّسَنا، فإنَّنا ندمِّر أنفسَنا، إذ لا يمكننا ذلك إلَّا في حدودٍ. عندما نكون نائمين، تواصل أعضاءُ التنفُّس والأجزاء المرتبطة بها عملَها؛ إذ إنَّ عملية التنفُّس هذه ضرورية بالنسبة لنا، اتصال الهواء برئتينا ضروريٌّ. عليَّ أن أخبركم بأكثر الطرق اختصارًا عن ماهية هذه العملية، نستهلك الطعام: يمرُّ الطعامُ عبر تلك المجموعة العجيبة من الأوعية والأعضاء داخِلِنا، ويُستجلَب إلى الأجزاء المختلفة من جهازنا الحيوي، وإلى الأجزاء الهضمية على وجه الخصوص. يُحمَل الجزء من الطعام الذي أُجريت عليه تغييراتٌ هناك إلى رئاتنا عن طريق مجموعة من الأوعية، بينما يُسحَب الهواءُ الذي نتنفَّسه في شهيقٍ وزفيرٍ إلى الداخل، ويُحمَل إلى خارج الرئات عن طريق مجموعة أخرى من الأوعية، ومن ثَمَّ يصير الهواءُ والطعامُ على مقربة من أحدهما الآخر، لا يفصلهما إلَّا سطحٌ رقيقٌ للغاية. هكذا يمكن للهواء أن يعمل على الدم عن طريق هذه العملية، وهو ما يسفر عن النواتج نفسِها تمامًا التي رأيناها في حالة الشمعة. تتحد الشمعة مع أجزاءٍ من الهواء مكوِّنة حمض الكربونيك ومولدة حرارة. وبالمثل يحدث التحوُّل الرائع المثير في الرئات؛ يتَّحد الهواءُ الداخل مع الكربون (الكربون ليس في حالتِه الحرة، بل مجهزٌ في هذه اللحظة من أجل التفاعُل)، وهو ما يولِّد حمضَ الكربونيك، ومن ثم يُطلَق إلى الهواء المحيط، وبذلك تحدث هذه النتيجة المتفردة، لذلك يمكننا النظر إلى الطعام باعتباره وقودًا. دعني آخذ قطعة السكر هذه، التي سوف تفي بالغرض، إنَّها عبارة عن مركَّب من الكربون والهيدروجين والأكسجين، يشبه الشمعة، إذ تحتوي على العناصر نفسها، غير أنَّها ليست بالنسب نفسِها، النسب موضحة بهذا الجدول:

SUGAR.

Carbon,	72	
Hydrogen,	11	99
Oxygen,	88	

في الحقيقة، يوجد الأكسجين والهيدروجين بالنسب نفسِها التي يوجدان بها في الماء، وهو أمرٌ شديدُ الإثارة، وسوف تتذكره جيدًا، وبالتالي يمكنك أن تقول إنَّ السكرَ يتكوَّن من ٧٢ وزنًا من الكربون و٩٩ وزنًا من الماء. ويتَّحد هذا الكربون الموجود في السكر مع الأكسجين المحمول إلى الداخل عن طريق الهواء في خلال عملية التنفُّس -وهو ما يجعلنا نشبه الشمعة- ينتج عن ذلك العديد من الآثار التي تحفظ النظام الحيوي مثل الحرارة وعدد آخر من النتائج الرائعة إلى

جانبه، وذلك عن طريق أبسط وأجمل العمليات. ومن أجل أن أجعلَ الأمرَ أكثر مدعاة للدهشة، سوف آخذ القليلَ من السكر أو سوف أستعمل شرابًا من نوعٍ ما كي أسرع التجربة، سوف أستخدم شرابًا يحتوي ثلاثة أرباعه على السكر والقليل من الماء. لو وضعتُ القليلَ من زيت الزاج(46) عليه، فإنَّه ينزع الماءَ ويترك الكربون في كتلة سوداء. (يخلط المحاضر الاثنين معًا) ترؤْن كيف يخرج الكربون، وقبل مرور الكثير من الوقت سوف تكون لدينا كتلة من الفحم، جاءت كلها من السكر. تعرفون أن السكر هو طعامٌ، ولدينا هنا كتلةٌ صلبةٌ من الكربون بكلِّ تأكيدٍ، في المكان الذي لم تكونوا لتتوقعوا وجودها فيه. وإذا رتبتُ الأمورَ من أجل أكسدة كربون السكر، فسوف نحصل على نتيجة أكثر إدهاشًا، ها هنا سكر، ولدي هنا مؤكسد، مؤكسد أسرع من الهواء المحيط، وبذلك فسوف نؤكسد هذا الوقود عن طريق عملية تختلف عن التنفُّس شكلًا، لكنَّها من النوع نفسِه، إنَّه اشتعال الكربون عن طريق التماس مع الأكسجين الذي أمدَّه الجسمُ به. إذا بدأتُ هذه التجربة ووضعتُ موادَها موضعَ العمل في الحال، فسوف ترؤْن الاشتعال يحدث. إنَّه ما يحدث تمامًا في رئتيَّ يحدث هنا لكن عن طريق عملية أسرع، تحصل رئتاي على الأكسجين من مصدرٍ آخر، ألا وهو الهواء المحيط.

(46) زيت الزاج: حمض الكبريتيك. (المترجم)

سوف تندهشون عندما أخبركم عن كمية الكربون المضمَّنة في هذا العمل المثير، سوف تحترق الشمعة لأربع أو خمس أو ست أو سبع ساعات، إذن ما كمية الكربون اليومية التي تتصاعد في الهواء في صورة حمض كربونيك! ما كمية الكربون التي تتصاعد من كلٍّ منَّا خلال التنفس! يا له من تغيُّرٍ رائعٍ للكربون يجب أن يحدث في ظروف الاشتعال أو التنفس تلك! يحوّل الإنسان في أربع وعشرين ساعة كمية من الكربون تعادل سبع أوقيات إلى حمض كربونيك. تحوّل بقرة مدرة للبن سبعين أوقية، ويحوِّل الفرس تسع وسبعين أوقية، وذلك عن طريق التنفُّس فقط. يحرق الفرس في أربع وعشرين ساعة تسع وسبعين أوقية من الفحم أو الكربون في أعضاء التنفس الخاصة به، وذلك من أجل توفير الحرارة الطبيعية خلال ذلك الوقت. تحصل كلُّ الحيوانات من ذوات الدم الحار على حرارتها بهذه الطريقة، عن طريق تحويل الكربون، ليس وهو في حالته الحرة، لكن وهو في حالة اتحاد. ويا له من فهمٍ غير عادي نحصل عليه عن تلك التبدلات التي تجري في الهواء المحيط بنا (الغلاف الجوي). تتكوَّن في لندن وحدها عن طريق

التنفس كمية من الكربون تقدَّر ب 5.000.000 رطلٍ أو ٥٤٨ طنٍ من حمض الكربونيك خلال أربع وعشرين ساعة، أين يذهب هذا كلُّه؟ يتصاعد في الهواء. ماذا كان ليحدث لو كان الكربون مثل الرصاص الذي أريتكم إياه أو مثل الحديد، ينتج مادة صلبة عند الاحتراق؟ ما كان الاشتعال ليستمر. يحترق الفحم، يتحوَّل إلى بخارٍ ويغادر إلى الغلاف الجوي، الذي يؤدي دور الحافلة العظيمة، الحامل العظيم الذي يبعده إلى أماكن أخرى. وما الذي يحدث له بعد ذلك؟ يبدو التغير الناتج عن التنفُّس مؤذٍ جدًّا لنا (إذ إننا لا نستطيع تنفُّس الهواء مرتين)، إلَّا أنَّه من المدهش اكتشاف أنَّ هذا التغيُّر هو أساس حياة النباتات والخضراوات التي تنمو على سطح الأرض والداعم لها. يحدث الأمر نفسُه تمامًا تحت سطح الأرض في أعماق المياه الهائلة، حيث تتنفس الأسماك والحيوانات الأخرى وفق المبدأ نفسه، إلَّا أنَّ ذلك لا يتمُّ عن طريق الاتصال المباشر تمامًا بالهواء المفتوح.

تتنفس سمكة مثل التي لدي هنا (مشيرًا إلى دورقٍ يحتوي على سمكة ذهبية) عن طريق الأكسجين الذائب من الهواء في الماء، وتكوِّن حمض الكربونيك، ويتنقل الاثنان كي يضطلعا بالعمل العظيم الذي يجعل مملكتيّ الحيوانات والنباتات نافعتين إحداهما للأخرى. تمتص كل النباتات التي تنمو على سطح الأرض الكربون، مثل تلك النبتة التي جئتُ بها هنا كي تكون بمثابة نموذجٍ توضيحي. تأخذ هذه الأوراق الكربونَ من الهواء المحيط ومن ثم تنمو وتزدهر، وهو الكربون الذي سبق وأمددناها به في صورة حمض كربونيك. أعِطها هواءً نقيًّا مثل الهواء الخاص بنا، ولن تستطيع الحياة فيه، أعِطها الكربونَ مع موادٍ أخرى وسوف تعيش وتبتهج. تحصل قطعة الخشب هذه على كلِّ الكربون الخاص بها من الهواء المحيط، مثلها في ذلك كمثل الأشجار والنباتات، إذ يحمل الهواء المحيط ما هو ضارٌ بالنسبة لنا، وفي الوقت نفسه نافعٌ لها، يحمله بعيدًا عنَّا ويجلبه لها، ما هو ممرض لأحد المخلوقات، صحي للآخر، لذلك فقد جُعلنا معتمدين، لا على المخلوقات المصاحبة لنا فقط بل على الموجودات المصاحبة لنا كلها؛ ترتبط الطبيعة بأكملها معًا بقوانين بحيث يفضي الجزء الواحد إلى صلاح الآخر.

ثمَّة نقطةٌ أخرى صغيرة، يجب أن آتي على ذكرِها، قبل أن نصل إلى النهاية، وهي نقطة مهمة فيما يتعلق بهذه العمليات بأكملِها، ومن المثير والجميل للغاية أن نراها وقد اجتمعت وارتبطت بالمواد التي نُعنى بها، الأكسجين والهيدروجين والكربون وذلك في حالات وجودها

المختلفة، لقد أريتكم للتوِ القليلَ من مسحوق الرصاص، الذي جعلته يحترق(47)، ولقد رأيتم أنه في اللحظة التي عرَّضنا فيها الوقودَ إلى الهواء تفاعل معه حتى قبل أن يخرج من الزجاجة، في اللحظة التي زحف الهواء فيها إلى الداخل حدث التفاعل. والآن، فإنَّه توجد حالة من الانجذاب الكيميائي، تمضي تبعًا لها كلُّ عملياتنا، عندما نتنفس، تحدث العملية نفسها داخلِنا. عندما نحرق شمعة، يتواصل انجذاب الأجزاء المختلفة الواحد نحو الآخر. يجري هذا الأمر هنا في حالة الرصاص، وهو مثالٌ جميلٌ على الانجذاب الكيميائي. إذا رُفِعت نواتج الاشتعال عن السطح، فسوف تشبُّ النيران في الرصاص، ويواصل الاحتراق حتى النهاية، إلَّا أنَّك تذكر ذلك الفارق بين الفحم والرصاص، فبينما يمكن أن يبدأ الرصاص التفاعل في الحال إذا كان ثمَّة سبيلٌ للهواء إليه، يبقى الكربون لأيامٍ وأسابيعَ وشهورٍ وسنين؛ كُتِبت نصوص هركولانيوم(48) بحبرٍ كربوني، بقيت هناك لمدة ١٨٠٠ عام أو أكثر، لم يغيرها الهواء الجوي على الإطلاق، وذلك على الرغم من اتصاله بها تحت ظروفٍ مختلفة.

47) يحضر الرصاص تلقائي الاشتعال عن طريق تسخين طرطرات الرصاص الجافة في أنبوبة زجاجية (مغلقة من جهة ومسحوبة من الجهة الأخرى إلى أن تنتهي في نقطة ضيقة)، وذلك إلى أن يتوقف أيُّ بخارٍ عن الصدور، ثم تغلق النهاية المفتوحة في إحكامٍ. عند كسر الأنبوبة ورج محتواها مع الهواء، يحترق بوميضٍ أحمر.

48) هركولانيوم: مدينة تاريخية تقع في جنوب إيطاليا، دمَّرها بركان فيزوف. (المترجم).

والآن ما هي الوقائع التي تجعل الرصاص والكربون مختلفين من هذه الناحية؟ إنَّه لأمرٍ مدهشٍ أن نرى المادة المعدة للعمل كوقودٍ تنتظر وتتمهل في تفاعلِها، لا تبدأ الاحتراق مثل الرصاص والعديد من المواد الأخرى التي أستطيع أن أُريها لكم، لكنَّني لم أزحم الجدولَ بها، إلَّا أنَّ الكربونَ ينتظر ويتمهل في التفاعل، هذا الانتظار هو أمرٌ مثيرٌ ورائعٌ. لا تبدأ الشموع -هاتان الشمعتان اليابانيتان على سبيل المثال- التفاعُل في الحال، على العكس من الرصاص أو الحديد (إذ إنَّ الحديدَ المجزَّأ جيدًا يقوم بالشيء نفسِه مثله كمثل الرصاص). تبقى الشموع منتظرة لسنواتٍ، وربما لدهورٍ، من دون القيام بأي تحوُّلٍ. لدي هنا إمدادٌ من غاز الفحم، يخرج الغاز مندفعًا، لكنكم تروْن أنَّ النيرانَ لا تشب فيه، يخرج إلى الهواء، إلَّا أنَّه ينتظر حتى تكون الحرارة كافية قبل أن يحترق. لو جعلته ساخنًا بالقدر الكافي، تشب فيه النيران، ولو أطفأته فإنَّ الغاز الصادر في اندفاعٍ ينتظر حتى يتعرَّض للهبٍ من جديدٍ. إنّه لمن المثير أن نرى كيف تنتظر المواد المختلفة، كيف ينتظر البعض حتى ترتفع الحرارة قليلًا، وكيف ينتظر البعضُ الآخر حتى ترتفع

الحرارة بقدرٍ كبيرٍ. لدي هنا القليلُ من البارود وبعضُ قطن البارود، وحتى هاتان المادتان تختلفان من حيث الظروف التي سوف تحترقان عندها. يتكوَّن البارود من كربونٍ وموادٍ أخرى، تجعله قابلًا للاشتعال بشدة، أما قطن البارود فهو مستحضرٌ آخر قابلٌ للاشتعال. ينتظر الاثنان، إلَّا أنَّهما سوف يشرعان في النشاط عند درجات مختلفة من الحرارة أو تحت ظروفٍ مختلفة. إذا عرَّضناهما لسلكٍ ساخنٍ، فسوف نرى أيهما يبدأ الاشتعال أولًا (يلمس قطن البارود بالحديد الساخن). ترَوْن لقد انطلق قطن البارود، إلَّا أنَّ أسخن أجزاء السلك في الوقت الحالي ليست ساخنة بالشكل الكافي حاليًّا كي تشعل اللهب في البارود. يا لها من تجربة جميلة، تريكم الفارقَ في الدرجة التي تتفاعل عندها المواد بهذه الطريقة! في إحدى الحالتين تنتظر المادة لأي وقتٍ حتى تنشط بفعل الحرارة، إلَّا أنَّها في الحالة الأخرى لا تنتظر أبدًا، مثلما هو الحال في عملية التنفُّس؛ بمجرد أن يدخل الهواء الرئتين، يتَّحد مع الكربون، ويفعل ذلك حتى في أدنى درجات الحرارة التي يمكن للجسم تحمُّلها قبل أن يصبح متجمدًا، يبدأ التفاعُل في الحال، وينتج عنه حمض كربونيك التنفس، وبذلك تمضي كلُّ الأمور بالشكل المناسب والسليم. هكذا ترَوْن أنَّ التشابُه بين التنفُّس والاشتعال ما يزال يحمل ما هو أكثر جمالًا وإثارة. في الحقيقة، كلُّ ما يمكن أن أقوله لكم في نهاية هذه المحاضرات (إذ إنَّنا لا بُدَّ أن نبلغ النهاية في وقتٍ ما أو الآخر) إنني أرجو أن تكونوا في جيلِكم أكْفاء مثل شمعة؛ تشعُّون مثلها ضياءً لمن حولكم، تبرزون جمالَ عصا الإشعال بجعل أفعالكم شريفة ومؤثرة، إذ تقومون بواجباتِكم تجاه رفاقكم.

محاضرة عن البلاتين

أُلقيت أمام المعهد الملكي في يوم الجمعة، ٢٢ فبراير ١٨٦١

سواء حظيتُ بشرف الظهور أمامكم الليلة أم لا، يبدو مشكوكًا في ذلك بسبب أمرٍ أو اثنين سوف أذكر أحدهما في الحال، أما الآخر فقد يظهر أو لا يظهر خلال الساعة التالية. يتلخص الأمرُ الأول في التالي: لقد تأسَّس التزامي بأن أطرح هذا الموضوعَ على مسامعِكم الليلة على وعدٍ قطعته لصديقي ديفيل من باريس، وكانت لديَّ نيةٌ كاملةٌ للوفاء بالوعد، إذ وعدتُه أن آتي إلى هنا وأن أريكم ظاهرةً غير شائعة في كيمياء علم المعادن (ميتالورجيا)؛ ولقد أُحبطتُ من هذه الناحية. انعقد عزمُه على صهر ثلاثين أو أربعين رطلًا من البلاتين هنا، وذلك كي يظهر لكم مستعينًا بلساني وبياني مبادئ عملية جديدة في علم المعادن (ميتالورجيا)، تتعلَّق بهذا المعدن القيِّم والجميل والساحر، إلَّا أنَّ ظروفًا لا دخل لي أو له أو لأي أحدٍ بها قد منعتنا من تنفيذ ذلك العزم، ولم أعلم بذلك إلَّا من مدة قصيرة جدًّا، لم تسمح لي بالكاد بالتخلِّي عن التزامي هنا والانشغال بأمرٍ آخر، أو بإبلاغِكم بالأمر على أفضل نحوٍ ممكنٍ مع هذه الظروف، ولقد تكبَّدتم بكلِّ عطفٍ منكم عناءَ القدوم من أجل الاستماع إلى ما قد يُقال، لذلك أقترح الإشارة على أفضل نحوٍ ممكن إلى ماهية تلك المبادئ التي باشرها م. ديفيل مستعينًا بالرسوم وبعض التجارب الأدنى والأقل.

لقد عرفنا معدنَ البلاتين منذ مائة سنة تقريبًا، تشاهدون بعضَ العينات الرقيقة جدًّا منه على الطاولة، لقد شُكِّل بطريقة جميلة في هذه البلد وفي فرنسا وفي أماكن أخرى، ويصل إلى المستهلك في سبائكَ من هذا النوع أو في أطباقٍ -مثل ذلك الذي لدينا هنا- أو في كتلٍ، يدلُّ ضغطُها على الطاولة على وزن المادة الكبير، وهذا المعدن في الحقيقة على رأس كلِّ المواد تقريبًا من هذه الناحية. يعرف الكثيرون منَّا دكتور ولاستون(49)، نحصل على هذه المادة إلى الآن عن طريق فلسفة د. ولاستون، نحصل عليه نقيًّا وجميلًا للغاية. إنَّه معدنٌ جديرٌ جدًّا بالاهتمام من نواحٍ عدة بالإضافة إلى استعمالاتِه الخاصة المعروفة. يأتينا عادة في حباتٍ، ها هنا عيِّنة رقيقة جدًّا لبلاتين حرٍّ في حبات، ها هنا أيضًا سبيكة وها هنا بعضُ القطع الصغيرة المجموعة من التربة الطمية في البرازيل والمكسيك وكاليفورنيا ومناطق الأورال الروسية.

.ولاستون: كيميائي وفيزيائي إنجليزي (١٧٦٦ – ١٨٢٨). (المترجم) (49)

من الغريب أنَّ هذا المعدن يوجد غالبًا مرتبطًا بأربعة أو خمسة عناصر أخرى، مثيرة للغاية من حيث خواصها وصفاتها، تُعرف هذه المعادن باسم المعادن البلاتينية، ولا تقتصر علاقتُها على وجودِها في ارتباطٍ بهذه الطريقة فقط، بل لها علاقاتٌ أخرى ذات طبيعة مثيرة، وهي العلاقات التي سوف أوضحها بالرجوع إلى أحد الجداول من خلفي.

توجد هذه المادة دائمًا بشكلٍ حرٍّ؛ فهي دائمًا في حالتِها المعدنية. أمَّا المعادن الأخرى التي توجد متصلة بها، التي نادرًا ما توجد في مكانٍ آخر فهي البالاديوم والروديوم والإيريديوم والأوزميوم والروثينيوم. لدينا الأسماء في أحد الجداول مرتَّبة في عموديْن، تمثِّل -كما تروْن- مجموعتين. تتشكَّل إحداهُما من البلاتين والإيريديوم والأوزميوم، وتتشكَّل الأخرى من الروثينيوم والروديوم والبالاديوم، المكافئ الكيميائي(50) لثلاثة منها ٩٨.٥، أما المكافئ الكيميائي للعناصر الأخرى فنصف ذلك الرقم تقريبًا. هكذا فإنَّ لمعادن إحدى المجموعتين وزنًا نوعيًّا(51) بالغًا – البلاتين هو الأخفُّ من بين عناصر تلك المجموعة في الحقيقة، أو هو في خفة أخفِّها- الوزن النوعي للأوزميوم ٢١.٤ وهو الأثقل في الطبيعة، الوزن النوعي للبلاتين ٢١.١٥ وللإيريديوم الوزن النوعي نفسه، أما الوزن النوعي للعناصر الأخرى المتبقية فنصف ذلك تقريبًا، أي ١١.٣ و١٢.١ و١١.٨. نجد علاقة مثيرة بين البالاديوم والإيريديوم؛ إذ إنهما متشابهان للغاية، لذلك لا تكاد تعرف أحدَهما من الآخر، على الرغم من أنَّ لأحدِهما نصفَ وزن الآخر فقط، ونصفَ القوة المكافئة فقط. نجد الإيريديوم والروديوم مصطفيْن في تقارب كما نجد الأوزميوم والروثينيوم مصطفيْن في تقارب وهما بذلك يصنعان زوجين، كلٌّ منهما منفصلٌ عن مجموعتِه. إنَّ هذه المعادن هي الأقل قابلية للانصهار من بين المعادن التي نملكها، الأوزميوم هو أصعبُها في الصهر: في الحقيقة، أعتقد أنَّه لم يُصهَر أبدًا، بينما صُهِرت كلُّ المعادن الأخرى. يعقبه في صعوبة الصهر الروثينيوم ثم الإيريديوم ثم الروديوم ثم البلاتين (على ذلك فهو قابلٌ للانصهار نسبيًّا من حيث هذا الترتيب، ومع ذلك اعتدنا منذ فترة طويلة على الحديث عن عدم قابليتِه للصهر)، ويأتي بعده البالاديوم، وهو المعدن الأكثر قابلية للصهر من بينها جميعًا. من المثير أن نرى هذا الاجتماع الدقيق لخواصٍّ فيزيائية متجلية في معادن مجتمعة معًا في الطبيعة بطريقة ما

أو أخرى، إلَّا أنَّه لا شكَّ في أنَّنا نجد هذه المواد في التربة الطمييية على سطح الأرض نتيجة أسبابٍ تتعلَّق بالخواص المتشابهة.

(50) المكافئ: هو الكتلة المكافئة من المادة اللازمة لإتمام التفاعل مع ١ مول من أيونات الهيدروجين. (المترجم).

(51) الوزن النوعي: هي النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء. (المترجم).

والآن، فيما يتعلَّق بهذه المادة، اسمحوا لي أن أخبركم باختصارٍ عن الكيفية التي نحصل بها عليها، تأتي العملية على هذه الصورة: نجيء بالخام الذي أريتكم إياه، ويُعالج في خليطٍ من حمض النيتريك والهيدروكلوريك ذي قوة محددة، ويُحوَّل جزئيًّا إلى محلولٍ، مخلِّفًا جسيمات معينة، لدي هنا على الطاولة. وبعد أن يُذاب البلاتين في الأحماض بعناية، يُضاف محلول كلوريد الأمونيا، وهو ما أوشك على إضافتِه الآن هنا؛ يترسَّب راسبٌ أصفر، كما ترون في هذه التجربة الآن، يُغسَل الراسب ويُنظَّف بعناية، كي نحصل على هذه المادة (مشيرًا إلى عينة من كلوريد البلاتين والأمونيوم)، وقد طُرِدت العناصر الأخرى كلها تقريبًا. عند تسخين هذه المادة نحصل على ما يُعرَف باسم البلاتين الإسفنجي أو البلاتين في الحالة المعدنية مجزَّأً للغاية، وفي ذلك الوقت عندما تحصَّل عليه دكتور ولاستون لم يكن قابلًا للصهر في السوق أو في متاجر المصنعين إذ كانت الحرارة اللازمة لذلك عالية جدًّا، ولم تكن هناك أفرانٌ يمكنُها صهر المعدن كي يشكِّل كرة صغيرة وتلتحم أجزاؤه معًا. لا أعرف أنَّ ثمَّة معدنًا آخر -بخلاف الحديد- يحدث معه ذلك. لا نجمع أجزاء الحديد اللينِّ معًا عن طريق الصهر، لكن عن طريق عملية مشابهة لتلك التي نتبعها في حالة البلاتين، ألا وهي اللحام. وبعد الغسل الجيد لهذه الحبات الإسفنجية المجزَّأة من البلاتين وبعد غمرِها في المياه وذلك من أجل التخلُّص من الهواء، تُضغَط إلى بعضِها وتُسخن ويُطرَق عليها وتُضغَط من جديدٍ حتى تتحوَّل إلى كتلة مصمتة وكثيفة، أجزاؤها متقاربة، هكذا تتماسك، بحيث إنَّها عندما توضع في فرن الفحم وتُرفع درجة الحرارة، تندمج الجزيئات الواحدة في الأخرى، الواحدة بكلِّ البقية، بعد أن كانت في البداية مجزَّأة إلى ما لا نهاية، إذ كانت مجزَّأة كيميائيًّا، وذلك حتى تُصنَع تلك المادة التي ترونها هنا، تلك التي تستطيع تحمُّل الضغط والدرفلة(52) والبسط أيًّا كان نوعه. لم تُوظَّف أيُّ عملية أخرى إلى الآن من أجل الحصول على هذه المادة من الجزيئات باستثناء هذه العملية وذلك عن طريق الحل والترسيب والإشعال واللحام. إنه لأمر في غاية الروعة بالتأكيد أن ندرك أنَّه قد نعتمد بالكامل تمامًا على خواص المواد المتنوعة التي علينا التعامُل معها. وعلى ذلك يمكننا عن طريق القيام بعملياتٍ مثل هذه

العملية الحصول على خامٍ مثل هذا، يسمح بتقسيمه وبسطه تحت آلة للدرفلة- خامٍ من أجود الأنواع، إذ إنَّ أجزاءه متماسكة معًا، بلا فرجٍ، بلا مسامٍ، بل متواصلة تمامًا، بحيث لا يمكن لأي سائلٍ أن يمرَّ بينها. وقد بيَّن لنا د. ولاستون على نحوٍ جميلٍ أنَّ كرية بلاتين صُهِرت باستخدام بطارية فلطائية وحملاج (أنبوب معدني صناعي يُستعمَل لتكوين لهبٍ قويٍّ) أكسجين وهيدروجين ثم سُحِبت في هيئة سلكٍ لم تكن أفضل أو أقوى من هذا السلك الذي صنعه تماسك الجسيمات العجيب بفعل قوة الالتصاق التي ينالها عند درجات الحرارة العالية. هذه هي العملية التي وظَّفها ميسرس. إنني مدينٌ للطف جونسون وماتي، عن طريقِهما حصلتُ على هذه السبائك كما قدَّما لي مساعدة قيِّمة تتعلَّق بالنماذج التوضيحية.

(52) الدرفلة: عملية صناعية، تعتمد على تمرير المعدن بين عجلتين ثقيلتين من أجل صناعة رقاقة من المعدن. (المترجم).

إلَّا أنَّ المعالجة التي عليَّ أن أطلعكم عليها من نوعٍ مختلفٍ، -وذلك على أمل أن نصبح قادرين على تصنيع بلاتين من هذا النوع قبل مرور الكثير من الوقت- وهو ما شجعني على المجيء إليكم لأخبركم إلى أي مدى تقدَّم ديفيل في هذا الأمر، ولأشرح لكم المبادئَ التي انطلق في عملِه معتمدًا عليها. أعتقد أنَّ من المستحسن أن تروْا تجربة توضِح الطريقة التى نحصل بها على التحام البلاتين.

من المحتمل أنَّكم جميعًا تعرفون لحام الحديد: تذهبون إلى محل الحدادة وتروْن الحدَّاد يضع مقبضًا مذكي النيران في ساق المذكي، وعن طريق معالجاتٍ بسيطة وتعريضِهما للحرارة، يجعلهما واحدًا. لقد رأيتموه بلا شكٍّ يضع الحديدَ في النار وينثر القليلَ من الرمل فوقه، إنَّه لا يعرف الفلسفة التي يوظِّفها عندما ينثر قليلًا من الرمل على أكسيد الحديد، إلَّا أنَّ ثمة فلسفةً رفيعة وراء الأمر وهو يمارسها عندما يقوم بهذا اللحام. يمكنني أن أريكم هنا الواقعة الجميلة للصق الجسيمات معًا بأشد درجة ممكنة، إذا قُدِّر لكم الذهاب إلى متجر السيد ماتي ورأيتموهم هناك يطرقون ويلحمون، سوف تدركون قيمة التجربة التي أوشك أن أريها لكم. لديَّ هنا سلكٌ بلاتينيٌّ، إنَّه معدنٌ يقاوم تأثيرَ الأحماض، ويقاوم الأكسدة عن طريق التسخين، ويقاوم التغييرَ من أي نوعٍ، ولذلك قد أسخِّنه في الهواء المحيط من دون أي تدفُّقٍ، أثني السلك بحيث أجعل طرفيه متقاطعيْن معًا، أسخِّنهما باستخدام الحملاج، ثم أطرق عليهما طرقة بالمطرقة، أجعلهما قطعة واحدة. على ذلك صارت القطعتان متوحدتين، ثمَّة صعوبةٌ كبيرة عندما أحاول فصلَهما، وذلك

على الرغم من أنَّ الطرفيْن مرتبطان عند النقطة التي يلتقي فيها السطحان الأسطوانيان فقط. والآن نجحتُ في فصل طرفي السلك. لم يحدث الانفصالُ عند نقطة اللحام، لكنَّه حدث حيث قطعتْ الكماشة السلكَ، وهو ما يعني أنَّ اللحامَ الذي قمنا به كان لحامًا كاملًا، هكذا كان هذا مبدأ تصنيع وإنتاج البلاتين وفق الطريقة العتيقة.

أمَّا المعالجة التي طرح ديفيل القيامَ بها، وقام بها بالفعل بدرجة كبيرة مع إمدادات البلاتين الروسية تقوم بالكامل على الحرارة، واستخدام الأحماض فيها قليلٌ أو منعدمٌ، هكذا ربما تعرفون ماهية المشكلة. انظروا إلى هذا الجدول الذي يعطيكم تركيبَ قطعة من خام البلاتين مثل تلك التي أريتكم إياها للتوِ، مهما كان المكان الذي نجيء به منه، نجد أن لتركيبه التعقيدَ نفسَه، غير أنَّ النسبَ تختلف:

Platinum,	76.4
Iridium,	4.3
Rhodium,	0.3
Palladium,	1.4
Gold,	0.4
Copper,	4.1
Iron,	11.7
Osmide of Iridium,	0.5
Sand,	1.4
	100.5

يعود هذا التركيب إلى خام الأورال. في هذا المزيج -كما هو مُبيَّن في الجدول- يوجد الإيريديوم والأوزميوم ممتزجين في كريستالات، أحيانًا بنسبة ٠.٥ في المائة، وأحيانًا بنسبة ٣ أو ٤ في المائة. طرح ديفيل أنَّ في إمكانه التعامُلَ مع هذا الأمر بطريقة جافة، بدلًا من التعامُل معه باستخدام أي حمضٍ.

لدي هنا نوعٌ آخر من البلاتين، وأريه لكم لأجل هذا الغرض. لدى الحكومة الروسية مخزوناتٌ ضخمة من البلاتين في مناطق سيادتها، ولقد استطاعوا الحصولَ عليه في صورتِه المعدنية وصنعوا منه عملة. إنَّ العملة التي أحملُها في يدي هي قطعة من فئة اثني عشر روبل فضي، يساوي الروبل ثلاثة شلنات، ولذلك فقيمة هذه العملة ستة وثلاثون شلنًا. تساوي العملة الأصغر نصفَ هذا المبلغ، والأخرى نصفَ ذلك، مع هذا فالمعدن غير مناسبٍ لصكِّ العملة. عندما يكون لديك معدنا الذهب والفضة من أجل صكِّ العملة، يكون لديكَ القليلُ من التشوُّش بخصوص قيمة الاثنين في السوق، إلَّا أنَّه عندما يكون لديكَ ثلاثة معادن نفيسة (إذ إنَّكَ قد تصف البلاتين بالمعدن النفيس) تُصكُّ منها العملات، فمن المؤكَّد أنَّها سوف تعاكس بعضُها بعضًا. في الحقيقة

لقد حدث ذلك، إذ حدَّدتْ الحكومة سعرَ عملة البلاتين بحيث صار من المربح شراءُ البلاتين من بلدانٍ أخرى وصكُّه في عملاتٍ ثم حملها إلى تلك البلدة وتداولها، وكانت النتيجة أنَّ الحكومة الروسية أوقفتْ الأمرَ. تركيب هذه العملة كالتالي: البلاتين ٠.٩٧، والإيريديوم ٠.٢، والروديوم ٠.٥، والبالاديوم ٠.٢٥، والقليل من النحاس والقليل من الحديد. في الحقيقة، يُعَدُّ هذا بلاتينًا رديئًا؛ يقشر وغير مناسبٍ للاستعمال التجاري أو في المعمل، بينما البلاتين الآخر النقي ليس كذلك، يحتاج ذلك البلاتين للعمل عليه مرة أخرى.

تعتمد عملية ديفيل على ثلاث نقاطٍ: الحرارة الشديدة، وتأثير الحملاج، وقابلية معادن معينة للتطاير. نعرف أنَّ ثمَّة معادنَ كثيرة قابلة للتطاير، إلَّا أنَّني أظنُّ أنَّ هذه هي المرة الأولى التي تُستخدَم فيها قابلية معادن معينة للتطاير -مثل الذهب والبالاديوم- من أجل التخلُّص منها والإبقاء على شيء آخر من دونِها. يركن ديفيل بصورة كبيرة إلى تطاير معادن، لم نعتدِ النظرَ إليها باعتبارِها متطايرة، كنَّا ننظر إليها باعتبارِها معادنَ ثابتة.

والآن عليَّ توضيحُ هذه النقاط الثلاث عن طريق القليل من التجارب. ربما في إمكاني أن أريكم على أفضل وجهٍ ما المطلوب في عملية تسخين البلاتين عن طريق استخدام مصدر الحرارة الموجود هنا، الذي يبدو كأنَّه بلا حدودٍ– إنَّه البطارية الفلطائية، إذ يبدو أنَّ الحرارة المتطلبة هي تلك فقط التي تؤثِّر بها البطارية الفلطائية على البلاتين. سوف تروْن النتيجة التي نحصل عليها عندما نضع طرفي البطارية على سلك البلاتين هذا. تدركون أنَّ في استطاعتِنا أخْذ أداة التسخين هذه إلى أي مكانٍ نحبُّه، وأن نتعامل معها كيفما نشاء، وأن نقيِّد عملَها تبعًا للحال. أنا مضطرٌّ إلى التعامُل معها بحذرٍ، إلَّا أنَّ هذه الواقعة رغم ذلك سوف تحمل الكثيرَ من الإثارة لكم عند مشاهدة التجربة. ها أنا أُجري التلامس، عندما ينضغط التيارُ الكهربي في الأسلاك الموصلة الرفيعة ذات المقاومة، تتولَّد حرارةٌ ذات درجة عالية، وهذه هي القوة التي نعمل من خلالِها. تروْن الوَهَجَ الشديدَ الذي ينبعث من السلك في الحال، وإذا عرضته للحرارة باستمرارٍ، فسوف يؤدي ذلك إلى صهر التيار للسلك، وبمجرد أن أفصل التيارَ وأقطع الاتصالَ، يستعيد السلك مظهرَه السابق. والآن نلامِس السلكَ من جديدٍ، تروْن الوَهَجَ مثلما رأيتموه في السابق (تُعاد التجربة عدة مرات في تتابعٍ سريعٍ)، يمكنكم رؤية خيطٍ من الضوء، إلَّا أنَّكم لا تكادون تروْن السلكَ. والآن نجد أنَّه قد انصهر بفعل الحرارة الشديدة، إذا فحصتموه، فسوف تلاحظون أنَّه صار في هيئة غير

منتظمة تمتدُّ من طرفٍ للآخر؛ صار في هيئة كراتٍ صغيرة مفتولة على محورٍ من البلاتين يمرُّ عبرها، إنَّه ذلك السلك الذي وصفه السيد جروف وقال إنَّه ينتج في اللحظة التي يبدأ عندها انصهارُ الكتلة بأكملِها. بالطريقة نفسها، إذا أخذتُ قطعةً من البلاتين السميكة بقدرٍ مقبولٍ، وعرضتُها إلى الحرارة التي قد تنتج من هذه البطارية، فسوف تروْن اللمعانَ المنبعِث من هذا الفعل. سوف أضع نظارةً واقيةً من أجل إجراء التجربة، إذن إنَّ ثمَّة تأثيرًا مؤذٍ للشرر الفلطائي على العين، إذا استمرَّ لفترة. وليس من الكياسة أو الشجاعة تعريض أي عضوٍ لخطرٍ غير ضروري، كما أنَّني أريد على أي حالٍ الإبقاء على عينيَّ بكفاءة تامة حتى نهاية المحاضرة.

والآن تروْن تأثيرَ الحرارة على قطعة من البلاتين، حرارة عظيمة جدًّا بحيث تحطم الطبق الذي تقع عليه قطراتُ المعدن الساقطة. هكذا تدركون أنَّ لدينا مصادرَ قوية كفاية للحرارة في الطبيعة من أجل التعامُل مع البلاتين. لديَّ هنا جهازٌ يمكنني أن أريكم الأمرَ نفسَه بواسطتِه، ها هنا قطعةٌ من البلاتين موضوعة في بوتقة من الكربون وهي في نهاية أحد قطبي البطارية، وسوف تروْن الضوءَ الذي سوف ينتج. ها هو فرننا، تزداد حرارة البلاتين سريعًا، والآن تلاحظون أنَّه انصهر، وتناثرتْ منه جسيماتٌ صغيرة، يا له من جهازٍ يحمل فلسفة ساحرة. عندما تتطلَّع إلى النتيجة التي ترقد على الفحم، سوف ترى قطعة منصهرة جميلة من البلاتين، إنَّها الآن كرية ملتهبة، لها سطحٌ برَّاقٌ جدًّا وأملس وعاكسٌ، لا يمكنني أن أقول إن كان شفافًا أم معتمًا أم ماذا. هكذا يوفِّر لكم هذا فكرة عمَّا يجب القيامُ به بواسطة أي عملية تدَّعي القدرة على التعامُل مع ثلاثين أو أربعين أو خمسين رطلًا من البلاتين في مرة واحدة.

اسمحوا لي الآن أن أخبركم باختصارٍ عمَّا طرح ديفيل القيامَ به: أولًا جاء بهذا الخام الحامل للشوائب وغير النقي وخلطه بكمية معادلة لوزنه من كبريتيد الرصاص (وهو مركبٌ من الرصاص والكبريت (إذ وجد أنَّ ذلك ضروريٌّ وأفضل)). نحن في حاجة إلى الرصاص والكبريت كليهما من أجل الحديد الموجود في الخام، فكما تروْن في الجدول، هو أحد أكثر العناصر إزعاجًا في معالجتِه، إذ إنَّه لا يتطاير، وإذا بقي الحديدُ ملتصقًا بالبلاتين، فإنَّ البلاتين لن ينبجس في سلاسة؛ لا يمكن التخلُّص منه عن طريق الحرارة المرتفعة، إذ إنَّه لا يتصاعد في الهواء المحيط بحيث يخلف البلاتين من خلفِه. إذن تُمزَج مائةُ جزءٍ من الخام مع مائة جزءٍ من كبريتيد الرصاص مع خمسين جزءًا تقريبًا من معدن الرصاص في بوتقة، يرتبط الكبريت الموجود في

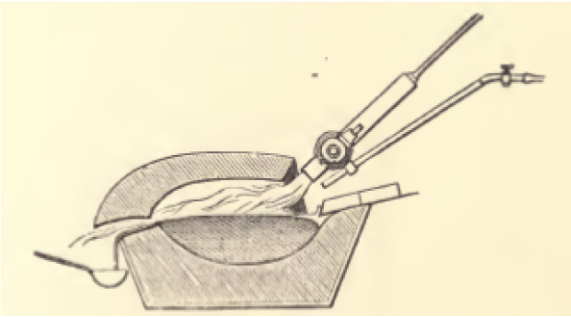
الكبريتيد مع الحديد والنحاس وبعض المعادن الأخرى والشوائب مكوّنًا خَبَثًا، ومع التسخين والأكسدة يُنزَع ذلك الحديد وهو ما يعني حدوثَ تنقية عظيمة.

والآن، ربما تعرفون أنَّ المعادنَ على شاكلة البلاتين والإيريديوم والبالاديوم تنجذب بقوة نحو المعادن مثل الرصاص والقصدير، ويقوم الكثيرُ على تلك الخاصية، إذ يعتمد الكثيرُ من إمكانية تخليص البلاتين من شوائب الحديد على انتشال الرصاص الموجود له. سوف أستدلُّ ببعض خبرات الكيميائيين -خبراتهم السيئة- كي تكوّنوا تصوُّرًا عن قدرة البلاتين الكبيرة على الارتباط بالمعادن الأخرى. يعرف الكيميائي جيدًا جدًّا أنَّه إذا أخذ رقاقةً من البلاتين وسخَّن قطعةً من الرصاص فوقها أو إذا أخذ رقاقة من البلاتين وسخَّن فوقها أشياءَ تحتوي على الرصاص، فإنَّ البلاتين يتدمَّر. لدي هنا قطعة من البلاتين وإذا عرضتها لحرارة مصباحٍ كحوليٍّ في وجود هذه القطعة الصغيرة من الرصاص التي سوف أضعها فوقها، فإنَّني سوف أصنع ثقبًا في المعدن. لن تتسبَّب حرارة المصباح نفسُها في أي ضررٍ للبلاتين، ولن تتسبَّب في ذلك الوسائل الكيميائية الأخرى، إلَّا أنَّه بسبب وجود القليلِ من الرصاص، وبسبب وجود انجذابٍ بين المادتين، فإنَّهما يلتحمان معًا في الحال. تروْن الثقبَ الذي صنعتُه. إنَّه كبيرٌ كفاية بحيث يمكنني أن أضعَ إصبعي فيه، وذلك على الرغم من أنَّ البلاتين نفسَه غيرُ قابلٍ تقريبًا للصهر إلا بواسطة البطارية الفلطائية، كما رأيتم. ومن أجل أن أُبيِّن لكم ذلك بطريقة أكثر إثارة للدهشة، أتناول رقاقة من البلاتين ورقاقة من القصدير ورقاقة من الرصاص وألفُّها معًا، وإذا عرضتُها للحملاج، فسوف تروْن في الحقيقة إعادة على نطاقٍ أكبر للتجربة التي رأيتموها للتوّ، عندما ارتبط الرصاص والبلاتين معًا، وأفسد أحدُهما الآخرَ. عندما توضع المعادن أحدها فوق الآخر، وتُلفُّ معًا وتُعرَّض للحرارة، فلن ترى أنَّ البلاتين يبلى فقط، بل سوف ترى أنَّ ثمَّة اشتعالًا يحدث في الوقت نفسِه الذي يرتبط فيه البلاتين بالرصاص، ثمَّة قوى تحافظ على الاشتعال. لقد تناولتُ قطعة كبيرة، وبذلك قد تروْن الظاهرة على نطاقٍ أوسع، رأيتم الاشتعالَ والانفجارَ الذي تلاه، والذي حصلنا على نتائجِه هنا ــتداعيات الانجذاب الكيميائي بين البلاتين والمعادن التي اجتمعت معه- وهو الأمر الذي أسَّس عليه ديفيل أولَ نتائجِه.

عندما صهر ديفيل هذه المواد وقلَّبها جيدًا إلى أن صنع مزيجًا منها، مرَّر هواءً إلى الداخل على السطح، من أجل حرق كل الكبريت المتبقي من كبريتيد الرصاص، وفي النهاية حصل على

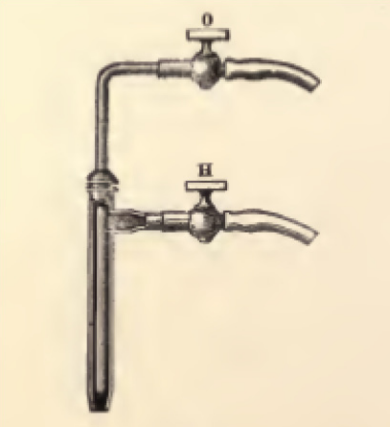
سبيكة من الرصاص والبلاتين، الكثير من الرصاص والقليل من البلاتين بالمقارنة. من ثم وضع تلك السبيكة في بوتقة مع الكثير من السكوريا(53) وأشياء أخرى، سوف يتعامل معها فيما بعد. علينا الآن أن نعالج ذلك الرصاص البلاتيني في عمليتنا القادمة، دعوني أخبركم عمَّا فعله: إنَّ هدفَه الأول التخلُّص من الرصاص؛ لقد تخلَّص بالفعل من كلِّ الحديد وعددٍ من الأشياء الأخرى، ولقد حصل على هذا المركَّب المُشار إليه في الجدول. قد يحصل على تركيزٍ عالٍ من البلاتين يقترب من ٧٨ في المائة و٢٢ في المائة من الرصاص، أو يحصل على البلاتين في تركيز ٥ أو ١٠ أو ١٥ في المائة ورصاصٍ بتركيز ٩٥ أو ٩٠ أو ٨٥ في المائة (ويُسمَّي ذلك بالبلاتين الضعيف)، وبعد ذلك يضع ما حصل عليه في وعاءٍ مثل هذا الذي تروْنه أمامكم. افترضوا أنَّ لدينا المزيج هنا، علينا تسخينه، ثم نمرِّر هواءً على سطحِه. سوف يتأكسد بالكامل المعدن القابل للاشتعال -وهو الرصاص هنا- سوف يتدفَّق المَرْتَك (أكسيد الرصاص) منصهرًا إلى وعاءٍ موضوعٍ بحيث يستقبله، وبذلك يتبقَّى البلاتين متخلفًا.

53) سكوريا: نوعٌ من صخور الحمم البركانية. (المترجم)



شكل رقم (36)

ها هي العملية التي وظَّفها ديفيل من أجل طرد الرصاص، بعد أن استخلص البلاتين من خامِه (بعد أن تستغلَّ صديقَكَ، تتخلَّص منه بأسرع ما يمكنك). لقد حصل على الحرارة عن طريق استخدام الأكسجين والهيدروجين، أو استخدام وقود مكربن من أجل توليد اللهب؛ لديَّ هنا مصدرٌ لغازِ الفحم، ولديَّ هناك مصدرٌ للهيدروجين، وهنا مصدرٌ للأكسجين، ولدي هنا حملاجٌ مثل الذي استخدمه ديفيل في عمليته من أجل العمل على البلاتين بالطريقة التي تحدثت عنها.



شكل رقم (37)

ثمة ماسورتان، إحداهما تذهب إلى مصدر غاز الفحم والأخرى إلى مصدر الأكسجين، عن طريق اتحاد هذين الغازين نحصل على شعلة لها حرارة تكفي لصهر البلاتين. ربما لن تستطيع تخيُّل الحرارة إلَّا إذا حصلتُ على دليلٍ عليها، لكنك سرعان ما سوف ترى أنَّني أملك القدرة على صهر البلاتين بالفعل. ها هنا قطعة من رقاقة بلاتينية تبدو كأنَّها قطعةُ شمعٍ تحت تأثير اللهب الذي أقرِّبه منها وأعرِّضها له. مع ذلك يبزغ سؤالٌ عمَّا إذا كنَّا قادرين على الوصول إلى حرارة كافية لصهر كتلٍ كبيرة -أرطالٍ كثيرة من المعدن، وليس هذه الكمية الصغيرة فقط- والآن بعد أن حصل على حرارة مثل هذه، عليه أن يفكر في الوعاء الذي سوف يوظِّفه من أجل الاحتفاظ بالبلاتين عندما يُسخَّن بشدة هكذا، ويتحمَّل آثارَ اللهب. لحسن الحظ فإنَّ هذه الأوعية توفِّرها أظنَّ أنَّ الجيولوجيين) باريس، وهي مصنوعة من مادة تحيط بباريس، هي نوعٌ من الطباشير وهي تتمتَّع بالقدرة على تحمُّل درجات الحرارة ،(calcaire gossiére يُطلِقون عليها كالكير جوسيير المتطرفة. الآن سوف أستصدر أقصى حرارة يمكن الحصول عليها. أولًا: أريكم اشتعالَ الهيدروجين بمفردِه، ليس لديَّ إمدادٌ كبيرٌ منه، لأنَّ غازَ الفحم كافٍ لأغلب أهدافِنا. إذا وضعتُ قطعة من الجير -حصلنا عليها من هذا الطباشير- في اللهب، تروْن أنَّنا نحصل على شعلة ساخنة بديعة، يمكنها أن تحرق أصابعَ يد الواحد بشدة. والآن اسمحوا لي أن أُعرِّض قطعة الجير لتأثير الأكسجين والهيدروجين معًا، أقوم بذلك كي أريكم فائدة الجير كمادة خامٍ في الأفران والأماكن التي أُعدِّت كي تحتوي المواد التي يجري العمل عليها وبالتالي عليها أن تحافظ على تأثير هذه الحرارة المتطرفة. لدينا الهيدروجين والأكسجين هنا، اللذان سوف يوفران لنا أشدَّ حرارة يمكن

الحصول عليها عن طريق تفاعلٍ كيميائي. وإذا وضعتُ قطعةً من الجير في اللهبِ، نحصل على ما يُطلَق عليه نور الكلس. والآن رغم كلّ جمال وشدة اللهب الذي تروْنه، لا وجود لأي أثرٍ ملموسٍ حاق بالجير باستثناء أثر القوى الميكانيكية لتيار الغازيْن المندفعيْن الذي يطيح بالجسيمات غير المتماسكة بقوة، البعضُ يدعوه «بخار الجير»، وربما يكون كذلك، إلَّا أنَّه لا يحدث أيُّ تغييرٍ آخر للجير بخلاف ذلك، رغم حرارة هذا التفاعُل الكيميائي الشديد الذي كان ليتسبَّب في انصهار أي مادة أخرى في الحال.

ننتقل بعد ذلك إلى الطريقة التي نُعرِّض بها المادة للحرارة: من السهل جدًّا بالنسبة إليَّ أن آخذ قطعة من الأنتيمون وأن أصهرها في لهب الحملاج، غير أنَّني لو حاولتُ ذلك في لهب المصباح العادي فلن أؤثِّر فيها بشيء. لو حاولتُ مع قطعة أصغر، فلن أؤثِّر فيها إلَّا قليلًا أو ربما لا أؤثِّر فيها إطلاقًا. وإذا حاولتُ مع قطعةٍ أصغر وأصغر فلن أؤثِّر فيها إلا قليلًا أو ربما لا أؤثر فيها إطلاقًا. إلَّا أنَّ لديَّ وضعًا سوف يمثِّل بأكبر قدرٍ ممكنٍ ما اضطلع به ديفيل عند استخدام الحملاج، وهو ما سوف نضطلع به بأكبر درجة ممكنة. افترضوا أنَّني أخذتُ قطعة الأنتيمون هذه: لن أكون قادرًا على صهرِها في لهبِ الشمعة عن طريق مجرد الإمساك بها وهي في اللهب، إلَّا أنَّه مع بذْل الجهد يمكننا صهر قطعة من البلاتين نفسِه في لهب الشمعة. أعددتُ ها هنا أشياءَ من أجل البرهنة على قابلية البلاتين للانصهار في لهب الشمعة العادي: يوجد هناك سلكٌ حصلنا عليه عن طريق عملية د. ولاستون المبتكرة، قطرُه لا يزيد عن ثلاثة من الألف من البوصة. نضع السلكَ في منتصف أسطوانة من الفضة، ونسحب الاثنين معًا حتى يصبح التركيب كلُّه رفيعًا للغاية، ثم نذيب الفضة في حمض النيتريك من أجل التخلُّص منها. يتبقى في المنتصف مادة، لا يمكنني بالكاد أن أراها باستخدام النظارة، لكنَّني أعرف أنَّها موجودة، ويمكنني أن أجعلها مرئية عن طريق وضعِها -كما تروْن- في لهب الشمعة، حيث تجعلها الحرارة تبرُق في شررٍ. لقد أجريتُ هذه التجربة مرة تِلوَ أخرى بالأعلى في غرفتي، ولقد صهرتُ بسهولة سلكَ البلاتين هذا باستخدام شمعة عادية، هكذا تروْن أنَّ في حوزتنا حرارة كافية في الشمعة، كما كانت في حوزِتنا حرارةٌ كافية في البطارية الفلطائية، وكما كانت في حوزتنا حرارة كافية في الاشتعال العظيم للحملاج، غير أنَّنا لا نوفِّر مصدرًا مستمرًّا للحرارة. خلال العمل على هذا الاشتعال، تنتقل الحرارة بالإشعاع بسرعة كبيرة، بحيث لا يكون في استطاعتِك مراكمة الحرارة الكافية لصهر

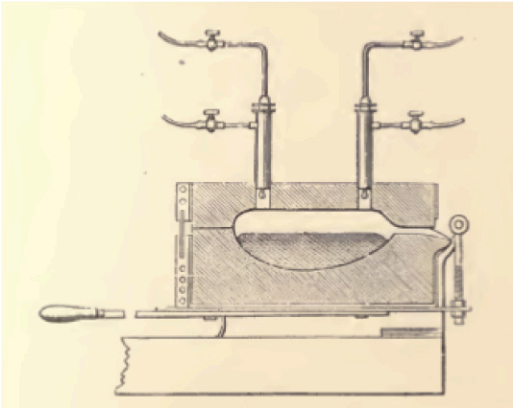
السلك، إلَّا في ظلِّ أشدَّ الترتيبات حرصًا، لذلك لا يمكنني صهر هذه القطعة من الأنتيمون عن طريق وضعها ببساطة في الشمعة، إلَّا أنّني إذا وضعتُها على الفحم، ووجَّهتُ التيارَ الناري في مواجهتِها، سوف تكون ثمَّة حرارة كافية لصهرِها. يكمن جمال الحملاج في أنَّه يبعث هواءً ساخنًا (يخلُق هواءً ساخنًا عن طريق إشعال اللهب) في مواجهة الشيء الذي نريد تسخينه. كلُّ ما عليَّ أن أمسكَ بالأنتيمون في مسار التيار، وعندها ترتطم جزيئات التيار الواحد في عقب الآخر بالأنتيمون، وبذلك نقوم بصهرِه. ترؤْنه الآن محمرًّا وساخنًا، ولا شكَّ لدي أنَّه سوف يواصِل الاحتراق، إذا سحبتُه من اللهب وواصلتُ دفعَ الهواء نحوه. ترؤْنه الآن يحترق من دون أيِّ حرارة باستثناء تلك الحرارة المنبعثة من اشتعالِه هو نفسه، والتي أحافظ عليها عن طريق دفعِ الهواء في مواجهتِه. سوف ينطفئ في لحظة، إذا أبعدتُ تيارَ الهواء عنه، إلَّا أنَّه يواصل الاشتعال، وكلما أمددته بالهواء عن طريق ما أفعله أو عبر أي سبيل آخر، كان ذلك أفضل. هكذا، فإنَّ ما لدينا هنا ليس مصدرًا محتملًا للحرارة فقط، بل وسيلة لدفع الحرارة بقوة صوب المواد.

اسمحوا لي أن أريكم تجربة أخرى مع قطعة حديدٍ. وذلك من أجل هدفيْن: إذ توضِّح لكم ما يقوم به الحملاج بوصفه مصدرًا للطاقة، وما يقوم به عن طريق بثِّ هذه الحرارة إلى حيث يتطلَّب الأمر. لقد استخدمتُ الحديدَ بالمقارنة بالفضة أو بالمعادن الأخرى، وبذلك ترؤْن الفارقَ في الأثر، وبالتالي يزداد اهتمامُكم بالتجربة. ها هنا وقودنا، غاز الفحم، وها هو الأكسجين؛ وبذلك ففي حوزتي طاقتي الحرارية، أعرض الحديد لها، ترؤْن الحديدَ يسخن سريعًا ويحمرُّ، وها هو حاليًّا يتدفَّق مثل كرية من الزئبق المنصهر. والآن لاحظوا، لا يمكنني أن أجعل أيَّ بخارٍ يتصاعد، إنَّه الآن مُغطًّى بغطاءٍ من أكسيدٍ منصهرٍ، وإذا لم تكن لديَّ طاقةٌ عظيمة في حملاجي، فمن غير الممكن بالكاد تجاوزه. ترؤْن الآن هذا الشررَ الجميلَ، ليس لديكم نوعٌ جميلٌ من الاشتعال فقط، لكنَّكم ترؤْن الحديدَ يحترق وهو في حالة ثابتة، لا يُصدِر دخانًا. إلى أي مدى يختلف هذا عمَّا يحدث مع بعض المعادن الأخرى؟ هذه القطعة من الأنتيمون، على سبيل المثال، التي رأيناها منذ قليلٍ تبعثُ الكثيرَ من العوادم. يمكننا بالتأكيد حرق هذا الحديد حتى يفنى عن طريق تزويده بوفرة من الهواء، إلَّا أنَّ ذلك لا علاقة له بما قصدَ إليه ديفيل عندما سعى إلى تعريض المواد لهذه الحرارة الشديدة، إذ يجب أن تكون للغاز نفسِه طاقةٌ كافية للإطاحة بالخبث الذي يتكوَّن على سطح المعدن، وللارتطام بالبلاتين، وذلك من أجل أن يحصل على الاتصال

الكامل الذي يرغب فيه من أجل حدوث الانصهار. نرى هنا إذن الوسائل التي لجأ إليها: الأكسجين وواحد من الغازات التالية، غاز الفحم أو غاز الماء(54)، أو غاز الهيدروجين الخالص، وذلك من أجل توليد الحرارة، وكذلك الحملاج من أجل دفعِ التيار الساخن نحو المعادن.

(54) غاز الماء: يُصنَع عن طريق تمرير بخار الماء على الفحم أو فحم الكوك المسخن المحمر، وهو خليطٌ بين الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، وكلٌّ منهما غازٌ قابل للالتهاب.

لديَّ هنا رسمان أو ثلاثة رسومٍ تقريبية، تمثِّل الفرنَ الذي استخدمه، إلَّا أنَّه أكبرُ من الأفران الفعلية التي استخدمها. حتى الفرن الذي قام فيه بأصعب عمليات الصهر والذي صهر فيه خمسين رطلًا من البلاتين في مرة واحدة لم يكن أكبر من نصف حجم ذلك الذي في الرسم.



شكل رقم (38)

إنَّه مصنوعٌ من قطعة من الجير في الأسفل وقطعة من الجير في الأعلى؛ تروْن كيف يحافظ الجير على الحرارة في جمالٍ من دون أن يتغيَّر شكلُه، وربما تكونوا قد فكرتم في منعِه الجميل لتبدِّد الحرارة نتيجة قدراتِه الرديئة للغاية على التوصيل. في الوقت الذي يكون فيه الجزءُ الأمامي من الجير -الذي تروْنه هنا- مشتعلًا للغاية، يمكنني في أي لحظة لمْس الجزء الخلفي من دون أن تزعجني الحرارة بأي شكلٍ، وبذلك كان في استطاعتِه الحصولُ على وعاءٍ يمكن أن يحتوي على هذه المعادن من دون أي فقدان للحرارة بالكاد، وذلك عن طريق غرفة من الجير من هذا النوع. يضع أكثر من حملاج عبر هذه الفتحات، ثم ينفث هذه الغازات نحو المعادن في الأسفل، والتي تنصهر تدريجيًّا، ثم يضع المزيدَ من المعدن من خلال ثقبٍ في القمة. تخرج نواتجُ الاشتعال من الفتحة التي تروْنها ماثلة هنا. إذا كان ثمَّة شرائحُ من البلاتين، فإنَّه يدفعها عبر الفم الذي يأتي منه التيارُ الساخن، وهناك تصير ساخنة محمرة وساخنة بيضاء قبل أن تدخل حمام

البلاتين. وبذلك فهو قادرٌ على صهر قدرٍ كبيرٍ من البلاتين بهذه الوسيلة. عندما ينصهر البلاتين، فإنَّه يخلع القمة ويصبُّه إلى الخارج من القطعة السفلى كأنَّها بوتقة ثم يشكِّله في قالبٍ. هذا هو الفرن الذي صهر عن طريقه أربعين أو خمسين رطلًا من البلاتين في مرة واحدة؛ رُفِعت حرارة المعدن إلى درجة لا يمكن لأي عينٍ أن تتحمَّلها، لا وجود لضوءٍ وظلٍ، لا وجود لتدرجات النور والظلام، لكلِّ شيءٍ شدة التوهُّج نفسها. تنظر إلى الداخل ولا يمكنكَ أن ترى أين المعدن وأين الجير، كلُّها واحدٌ. لذلك لدينا شفة بمقبضٍ، تلتفُّ حول محورٍ يتوافق مع المجرى المصنوع من أجل صبِّ المعدن، وعندما نعرف أنَّ كلَّ شيءٍ جاهزٌ عن طريق النظارات المعتمة، ينزع العمال قطعة الجير المشكِّلة للقمة، ويرفعون المقبضَ، ومن ثم يُوضع القالبُ في الوضع المناسب، وهو يعرف أنَّ خروجَ المعدن سوف يكون محاذًا تمامًا للمحور. لم تحدث أيُّ إصابة أبدًا جرَّاء استعمال هذه الخطة. تعرفون مقدارَ الحرص اللازم عند حمل وعاءٍ من الزئبق كالذي لدينا هنا مخافة أن ينقلب على أحد جانبيه، أمَّا إذا كان الوعاء وعاءَ بلاتين منصهرٍ، فمن اللازم استخدام أشد درجات الحرص، لأنَّ المادة أثقل مرتين، مع ذلك فلم يحدث أن أُصيب أيٌّ من العمَّال في هذه العملية.

لقد قلتُ إنَّ ديفيل يعتمد على الحرارة الشديدة من أجل التعامُل مع الأبخرة، وهذا يصل بنا إلى النقطة التي يجب أن نشرح عندها كيفية التعامُل مع الأبخرة. ها هنا حوضُ زئبقٍ، والزئبق يغلي بسهولة كما تعرفون، ويوفِّر لنا فرصة ملاحظة الحقائق والمبادئ التي سوف توجهنا. لديَّ قطبا البطارية هنا، وإذا جعلتهما في اتصالٍ مع الزئبق، انظر إلى الأبخرة التي تتكوَّن عندنا، يتطاير الزئبق سريعًا، ويمكنني إذا أحببتُ وضع كل الرفقة من حولي في حمامٍ من بخار الزئبق. وبالمثل، إذا أخذنا هذه القطعة من الرصاص وعالجناها بالطريقة نفسِها، فسوف تبعثُ بالبخار. لاحظ العوادم التي تتصاعد منها، وحتى لو كانت بمعزلٍ عن الهواء بحيث لا يمكنكَ الحصول على أي أكسيدٍ للرصاص، فسوف أحصل كذلك على تلك العوادم الكثيرة المتصاعدة. قد آخذ كذلك قطعةً من الذهب وأريكَ الأمرَ نفسَه. لدي هنا قطعةٌ من الذهب، وضعتُ عليها طبقة نقيَّة من حجر الجير الباريسي، أعرِّضها لحرارة الحملاج، انظر كيف تدفع الحرارة البخارَ بعيدًا، وسوف تلاحظون بقعة أرجوانية على الحجر، شكَّلها الذهب المتكثِّف؛ هكذا ترون دليلًا على قابلية الذهب للتبخُّر، ويحدث الأمرُ نفسُه للفضة. لن تندهش إذا استخدمت أحد العوامل أحيانًا واستخدمت

عاملًا آخر أحيانًا من أجل توضيح نقطةٍ معينة. إنَّ قابلية الذهب والفضة للتبخُّر متماثِلة، سواء استعملنا البطارية الفلطائية أو الحملاج. (يضع كتلةً من الفضة في بوتقة من الفحم بين قطبي بطارية فلطائية) الآن انظروا إلى عوادم الفضة، ولاحظوا اللونَ الأخضر المميز والجميل الذي تصدره. سوف نرى الآن عملية غلي الفضة نفسِها مُلقاة على شاشة من مصباحٍ كهربيّ تروْنه أمامكم. وبينما يجهز د. تيندال المصباحَ في لطفٍ لأجل هذا الهدف، اسمحوا لي أن أخبركم أنَّ دكتور ديفيل طرح استعمال هذه الوسيلة من أجل التخلُّص من كلِّ تلك الأشياء الزائدة التي تحدَّثتُ عنها باستثناء الإيريديوم والروديوم. صادف -كما قال- وكان الإيريديوم والروديوم قادرين على جعل المعدن أكثرَ مقاومة لهجمات الأحماض من البلاتين نفسِه. يضاف إلى السبائك روديوم وإيريديوم وقد تبلغ نسبتهما ٢٥ في المائة، يزداد خمود البلاتين الكيميائي عن طريق ذلك، كما تزداد مرونُته كذلك وبعض الخواص الفيزيائية الأخرى. (تُلقى صورة الانبعاث الفلطائي عبر بخار الفضة على الشاشة الآن) ما تجدونه الآن على الشاشة هو صورة مقلوبة لِمَا رأيتموه عندما سخنَّا الفضة من قبل، التيارُ الرقيق الذي تروْنه حول الفضة هو انبعاث القوى الكهربية الموجودة، إذ تعطيكَ ذلك الضوءَ الأخضر اللامع الذي تراه في الشعاع. وإذا فتح د. تيندال قمة المصباح، فسوف ترى كمية العوادم التي سوف تنبعث من الفتحة، وهو ما يوضح لكَ في الحال مدى قابلية الفضة للتبخُّر.

لقد انتهيتُ الآن من عرضي المعيب، وهو ليس سوى اعتذارٍ من أنَّني لم أعرض العملية نفسَها أمامكم، لقد قمتْ بأفضل ما يمكنني تحت هذه الظروف. وأنا على علمٍ جيدٍ بلطفكم، إذ إنَّني لو لم أكن منتبهًا إلى أنَّني قد أثق بهذا اللطف، ما كنتُ لأجيء هنا كثيرًا كما فعلتُ. يظهر لي بوضوحٍ شديدٍ وبشكلٍ مضنٍ فقداني التدريجي للذاكرة ولقدراتي الأخرى، وهو ما يتطلَّب مني في كلِّ مرة أظهر فيها أمامكم أن أتذكر باستمرارٍ لطفكم، وذلك كي أتمكَّن من أداء مهمتي. وإذا صادف وكنتُ أمضي ببطءٍ شديدٍ أو فشلتُ في القيام بما قد ترغبون فيه، فتذكَّروا أنَّكم أنفسكم المُلامون؛ إذ تطلبون مني أن أبقى. لقد رغبتُ في التقاعد، إذ إنَّني أظنُّ أنَّ كلَّ إنسانٍ عليه القيام بذلك قبل أن تضمحل قدراتُه، غير أنَّ عليَّ الاعتراف بأنَّ عاطفتي تجاه هذا المكان وتجاه أولئك الذين يتردَّدون على هذا المكان، تجعلني لا أكاد أعرف متى يحين الوقت المناسب لذلك.