

Michael Faraday



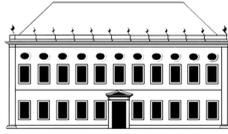
# História Química de uma Vela

Curso de seis lições



• COIMBRA 2011

(Página deixada propositadamente em branco)



D O C U M E N T O S

I  
IMPRESSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
COIMBRA UNIVERSITY PRESS  
U

**EDIÇÃO**

Imprensa da Universidade de Coimbra  
Email: imprensa@uc.pt  
URL: [http://www.uc.pt/imprensa\\_uc](http://www.uc.pt/imprensa_uc)  
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.com>

Sociedade Portuguesa de Química  
Email: sede@spq.pt  
URL: <http://www.spq.pt>

**COORDENAÇÃO EDITORIAL**

Imprensa da Universidade de Coimbra

**CONCEPÇÃO GRÁFICA**

António Barros

**PRÉ-IMPRESSÃO**

António Resende

**REVISÃO**

Maria de Fátima Lopes

**EXECUÇÃO GRÁFICA**

Sereer, Soluções Editoriais

**ISBN**

978-989-26-0087-1

**ISBN DIGITAL**

978-989-26-0211-0

**DOI**

<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0211-0>

**DEPÓSITO LEGAL**

325263/11



Ano Internacional da  
**QUÍMICA**  
2011

Michael Faraday



# História Química de uma Vela

Curso de seis lições

PREFÁCIO À EDIÇÃO PORTUGUESA DE SEBASTIÃO FORMOSINHO  
TRADUÇÃO DE MARIA ISABEL PRATA E SÉRGIO RODRIGUES



• COIMBRA 2011

(Página deixada propositadamente em branco)

## SUMÁRIO

Prefácio .....	7
Nota dos Tradutores .....	19
Prefácio da Edição Original .....	23
Lição 1 .....	25
Lição 2 .....	41
Lição 3 .....	55
Lição 4 .....	71
Lição 5 .....	85
Lição 6 .....	101
Notas da Edição Original .....	117

(Página deixada propositadamente em branco)

## PREFÁCIO

A *Royal Institution* foi fundada em 1799 por proposta de Benjamin Thomson, Count Rumford. Um instituto para manter exposições permanentes de indústrias novas, proporcionar conferências sobre ciência aplicada e manter um laboratório para a realização de experiências científicas. Por Maio do mesmo ano, o grupo de Proprietários conseguiu reunir dinheiro suficiente para comprar um prédio em *Albemarle Street* e realizar obras importantes de adaptação, nomeadamente a construção de um auditório no jardim da casa. Ser “Proprietário Permanente” requeria uma dádiva de pelo menos 50 guinéus.

O Doutor Garnett foi o primeiro Professor de Filosofia Natural da instituição, mas as suas conferências eram feitas com um certo vagar e pautadas por hesitações, que acabaram por levar à sua resignação do cargo, pois não suscitava o entusiasmo da audiência.<sup>1</sup> Por recomendação do Dr. Hope de Edimburgo, Rumford convidou Humphry Davy para o substituir em Fevereiro de 1801, com o cargo de *Assistant Lecturer* de Química e Director do Laboratório, com um salário de 100 guinéus por ano. Disponha de acomodação no edifício, bem como lhe era proporcionado carvão e velas («*coal and candles*»)<sup>2</sup> Em linguagem dos nossos dias, com direito a acomodação, aquecimento e iluminação. Mas queremos realçar a palavra inglesa *candle*, para nos situar no contexto da época: o que as velas representavam para a iluminação quotidiana, num tempo em que ainda não recorriamos à electricidade. Davy e Faraday vão dar o seu contributo neste novo domínio

---

<sup>1</sup> HARTLEY, Harold – “Humphry Davy”. Wakefield: Open University, 1972, pp. 38-39.

<sup>2</sup> *Id.*, p. 40.

científico, mas a seu tempo. E a “vela” é o focal da obra de Michael Faraday que, por ocasião do Ano Internacional da Química em 2011, o Doutor Sérgio Rodrigues quis lançar em língua portuguesa, enriquecida com anotações.

Davy, vindo de Bristol onde trabalhava no “*Pneumatic Institute*” do Dr. Beddoes sobre aplicações de gases, como o óxido nitroso, à medicina, e chegado à *Royal Institution* (RI) em 11 de Março de 1801, seis semanas depois já proferia o seu primeiro ciclo de conferências sobre galvanismo, com pleno agrado dos Proprietários da instituição, pois as finanças da RI já se encontravam um pouco em baixo. Como Director do Laboratório, tinha o intento de prosseguir as suas investigações em electroquímica a expensas da RI. Os Curadores, porém, tinham visões mais utilitárias para o novo Director e, seguindo o espírito de Rumford, cometeram-lhe um conjunto de conferências sobre a arte de tratar os couros, a começar em 2 de Novembro do mesmo ano. E depois em Dezembro sobre corantes e práticas do tingimento de tecidos ou impressão a cores de tecidos de algodão, lã, linho. Davy passou os meses de Julho e Agosto a visitar vários estabelecimentos de curtumes e em Setembro regressou ao laboratório para investigar sobre as substâncias usadas nestas práticas. Ignorou a recomendação de dar conferências separadas sobre os tópicos sugeridos pelo Curadores e, bem, incorporou estes desideratos num único ciclo de conferências sobre “química geral”.<sup>3</sup>

Em Abril de 1801, os Curadores nomearam Thomas Young como Professor de Filosofia Natural da RI. Não obstante o sucesso inicial de Humphry Davy, claramente Rumford não estava satisfeito com o curso que as actividades da RI tomavam, pois não via nele a busca dos objectivos filantrópicos que o tinham levado a propor este tipo de instituição. A verdade, porém, é que, no decorrer do ano de 1801, os próprios Curadores começaram a reconhecer a impossibilidade de levar à letra todos os projectos iniciais de Count Rumford, que lentamente vão sendo abandonados – *«the industrial school for artisans, the social clubhouse and the school of cookerie»*.<sup>4</sup> Uma escola industrial para artesãos, um clube social para a indústria e ciência

---

<sup>3</sup> *Id.*, pp. 40-41.

<sup>4</sup> *Id.*, p. 41.

aplicada e uma escola de alta cozinha. Conferências estimulantes e capazes de atrair bastante público havia de ser a grande fonte de rendimento da *Royal Institution* e este espírito permaneceu até aos dias de hoje, graças a Humphry Davy.<sup>5</sup>

A RI ficou um local de moda, as finanças melhoraram e voltaram a dar solvência à instituição, graças à mudança de política introduzida. Em 1802, Rumford, quiçá desiludido com a mudança de projectos, foi para Paris.<sup>6</sup>

Para Davy, a hora de triunfo chegou em 21 de Janeiro de 1802 com a sua conferência inaugural do ciclo de palestras de química. Um jovem de 24 anos, com uma boa formação clássica, talvez o mais romântico cientista da sua época e nascido no condado mais romanesco da Grã-Bretanha, a Cornualha, com interesses em poesia – graças à sua amizade com Coleridge havia publicado aos 20 anos poemas da sua juventude, “*Lyrical Ballads*” –, provido de uma fascinante imaginação, lidando com a audiência de uma elite londrina que ele sabia cativar como ninguém e capaz de trazer novidades fruto da investigação própria que realizava, eis os ingredientes desta “alta cozinha” para a divulgação da nova ciência emergente no século XIX, em larga medida a Química.

Em Dezembro de 1803, John Dalton veio a Londres para proferir um conjunto de palestras na RI, tendo aí ficado instalado junto ao apartamento de Davy. Dalton deixou registo escrito de que recebeu muito apoio de Davy para as conferências que iria dar, muito em particular para a primeira. «*Mr. Davy told me to labour my first lecture: he told me that people would be inclined to form their opinion from it*». Por isso Dalton escreveu inteiramente a sua primeira palestra. No dia anterior foram os dois para o Auditório, tendo-se Davy sentado lá no fundo para tomar notas. Depois foi o contrário, Davy leu a conferência escrita por Dalton e ambos exerceram o seu espírito crítico para o melhor sucesso da palestra. Dalton teve uma audiência de umas 150 a 200 pessoas, muito mais do que estava à espera, e aplaudiram-no.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> *Id.*

<sup>6</sup> *Id.*, p. 44.

<sup>7</sup> *Id.*, p. 46.

Com Davy e com Dalton, a química passou a ser na época a ciência mais popular de ambos os lados do Canal da Mancha, com os ingleses a equipararem-se à escola francesa dos discípulos de Lavoisier. O calor e a electricidade eram ramos da química, e a química começava a penetrar no «coração da matéria». Quem conta histórias faz cultura. Davy foi um eminente contador de histórias e este seu talento foi determinante para o sucesso das suas conferências na *Royal Institution*.

O sucesso foi em crescendo. Nos Invernos de 1810 e 1811, proferiu conferências em Dublin sobre electroquímica, a convite da “*Dublin Society*” e sobre a química da agricultura, a convite da “*Farming Society of Ireland*”. Logo no primeiro ano, estas conferências mobilizaram toda a *intelligentsia* da Irlanda para o ouvir. Houve mesmo um mercado negro de bilhetes e os seus honorários foram de 500 guinéus, o que patenteia bem o valor que este tipo de actividade suscitava. No ano seguinte repetiu o ciclo de palestras sobre química e geologia para a “*Dublin Society*”.

FOI MUITO DESTE ESPÍRITO QUE ENCONTREI quando, em Setembro de 1968, fui para o “*Davy Faraday Research Laboratory*” da *Royal Institution*, em Londres, para preparar o meu doutoramento com o Prof. George Porter, F.R.S., já laureado no ano anterior com o Prémio Nobel da Química. Sir George Porter, anos mais tarde Lord Porter; para os seus estudantes do meu tempo, simplesmente o “Prof”. «O Prof. Porter tinha um grupo muito animado, era uma pessoa encantadora, disponível para os seus estudantes, uma vez que vivia na própria *Royal Institution* onde era Director. Os temas de investigação eram interessantes e, essencialmente, só se fazia investigação. [...] Para além da investigação, a *Royal Institution* tinha actividades culturais, a ciência de um certo clube britânico. Como estudantes e colaboradores de Porter éramos envolvidos na preparação das suas conferências, como as *Christmas Lectures* que foram gravadas pela BBC». <sup>8</sup> O título das palestras no Natal de 1969 foi “*Time Machines*”.

---

<sup>8</sup> FORMOSINHO, S. J. – “Nos Bastidores da Ciência. 20 Anos Depois”. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2007, p. 40.

A preparação deste tipo de conferências requeria muito e muito treino. Lembro bem o elevado número de ensaios do Prof. Porter para puxar a toalha de uma mesa sem que caíssem os objectos aí colocados, incluindo uma garrafa: uma ilustração do princípio da inércia. Por vezes subíamos do laboratório onde trabalhava no rés-do-chão, laboratório onde trabalhou John Tyndall, para ver o Prof. Porter treinar no *hall* de entrada do Auditório. Auxiliado por Mr. Bill Coates, o Sr. Anderson dos tempos de Faraday. O treino era também um modo criterioso de controlar os tempos, pois as conferências, as *Friday Evening Discourses*, duravam exactamente uma hora. E os conferencistas passaram a ser fechados à chave no Auditório uma hora antes, desde que um dia Wheatstone, o da “ponte eléctrica” de seu nome, tão nervoso estava que fugiu.

Foi numa destas conferências que ouvi John Polanyi, num tema de que muito beneficiei para a minha lição do concurso para Professor Extraordinário em 1974, e que veio a ser publicada na *Revista Portuguesa de Química* um ano depois.<sup>9</sup> Mas regressemos às *Christmas Lectures* do Prof. Porter. Havia grande ansiedade entre todos nós, pois seriam transmitidas em directo na televisão pela BBC e porque numa delas, sobre o conceito de entropia, havia de se recorrer a uma máquina de gravação e transmissão de repetição imediata, os *replay*. A ideia era mostrar que podemos reconhecer o tempo das transformações químicas e o aumento da entropia pela irreversibilidade. E quando um processo irreversível é retransmitido ao contrário, tal como o despejar água num copo, ou difundir um corante em água, o *replay* é estranho ao nosso modo de vida – ver a água a subir no copo e voltar à garrafa, ou a tinta começar a encolher e voltar a ser uma gota concentrada no meio do solvente. As transmissões em *replay* eram muito recentes, e a BBC possuía apenas duas destas unidades; a que viria a ser usada na transmissão de uma das conferências viria directamente de uma prova desportiva, e havia o risco de chegar atrasada.

A minha intervenção numa das conferências dizia respeito a usar um disparo de um laser de *ruby* para incidir numa mistura gasosa de cloro e

---

<sup>9</sup> FORMOSINHO, S. J. – “Reactividade Química”. In *Rev. Port. Quím.*, 17, 268-282 (1975).

hidrogénio. Com a frequência normal do laser, a mistura gasosa não explodia, e assim sucedeu em todos os ensaios. Com a sua frequência duplicada por atravessar um cristal apropriado (ADP, dihidrogenofosfato de amónio; efeito de *Q-switching*), a mistura explodia. Ora, durante a conferência transmitida em directo, a mistura gasosa explodiu logo no primeiro ensaio. Havia-se dado um processo bifotónico no seio da mesma mistura gasosa. Aliás o Prof. Porter já havia publicado uma nota na *Nature*<sup>10</sup> sobre a possibilidade do fenómeno, fruto do uso da experiência numa outra conferência que havia apresentado na RI em 1967, mas recorrendo ao *Q-switching* por um corante à base de uma cianina. A verdadeira surpresa foi a duma mistura transparente à luz vermelha a 694,7 nm ter absorvido dois fotões. Talvez o papel de um “estado virtual” da molécula de cloro. Reposta uma nova mistura gasosa, não me restou outra alternativa senão, na experiência seguinte, puxar a potência do laser ao máximo, para que a explosão fosse mais intensa.

«O trabalho [de investigação] mais interessante e relevante foi realizado com o Mike West [...], a respeito dos espectros de absorção tripleto-tripletto do antraceno com resolução temporal de nanossegundos [...]. Já era noite e começámos a registar os sinais no osciloscópio. A curva de declínio do sinal de absorção era o esperado, uma curva matemática exponencial. Resolvi mudar um pouco o comprimento de onda de registo no monocromador. O sinal registou uma ligeira subida e depois decaía. Mike julgou ser um artifício experimental, mas continuei a mudar o comprimento de onda de registo e o panorama ia mudando [...]. O Prof. Porter desceu até ao laboratório onde estávamos a trabalhar e ficou interessado em ver os resultados. Subiu ao seu apartamento e trouxe-nos umas cervejas que bebemos os três juntos. Eu pensava que estávamos a observar a relaxação dos modos de vibração das moléculas no estado tripleto; já não me lembro o que disse o Prof. Porter, mas pensava que uma tal relaxação devia ser bastante mais rápida. Ficou combinado que logo no dia seguinte eu prepararia uma célula com outra pressão de árgon e o Mike e eu repetiríamos a experiência do mesmo modo. Nesse dia cheguei a casa pela meia-noite. No dia seguinte

---

<sup>10</sup> PORTER, G. – “Initiation of hydrogen chlorine reaction by red laser light”. In *Nature*, 215, 502 (1967).

confirmou-se a minha ideia da relaxação vibracional. E lá conseguimos convencer o Prof. Porter a apresentar tais resultados numa conferência que ia dar na semana seguinte, pois os tempos observados mostravam que a relaxação vibracional era bastante mais lenta do que se pensava. Um bom líder tem de ter capacidade de se deixar influenciar, e foi uma das muitas lições que aprendi com Porter, e que nunca esqueci»<sup>11</sup>. Mais uma vez a novidade científica a ser apresentada numa conferência da RI, tal como nos tempos de Davy.

ESCREVEU O BIÓGRAFO DE HUMPHRY DAVY que nos tem guiado, Sir Harold Hartley, que, «com alguma verdade, a maior descoberta e contributo para a ciência por parte de Davy foi o Michael Faraday».<sup>12</sup> Mas houve muitos elementos de boa sorte e ventura que acompanharam os dois neste caminho.

Em 8 de Abril de 1812, Davy era armado cavaleiro pelo Príncipe Regente. Casava em 12 do mesmo mês com Mrs. Apreece. Passado algum tempo apresentou resignação do cargo na RI, mantendo somente o de Director de Laboratório, mas sem salário, pois, como escreveu ao seu irmão John, o ritmo das conferências retirava-lhe muito tempo para a investigação. Mas a verdade é que durante os oito anos seguintes foi muito diletante em visitas sociais, actividades desportivas, viagens, pesca. O certo é que em Outubro de 1812 regressou ao laboratório para investigar um composto explosivo de cloro e azoto. Numa dessas experiências, acabou por ficar ferido numa vista devido ao estilhaço de um pedaço de vidro.<sup>13</sup>

Michael Faraday era aprendiz de encadernador e nessa sua actividade lia com frequência livros que lhe chegavam às mãos. Um dos compradores de livros e membro da RI, Mr. Dance, ofereceu-lhe bilhetes para o acompanhar a ouvir as quatro últimas conferências do curso de química de Davy na *Royal Institution*, uns meses antes do seu casamento. Faraday assistiu atento e tomou notas que enviou ao próprio Davy, exprimindo o desejo de mudar de profissão e pedindo-lhe conselho. Davy recebeu-o no início de 1813, recomendando-lhe que permanecesse no ofício, mas prometendo-lhe traba-

---

<sup>11</sup> FORMOSINHO, S. J. – “Nos Bastidores da Ciência. 20 Anos Depois”, p. 42.

<sup>12</sup> Hartley, *ob. cit.*, p. 89.

<sup>13</sup> *Id.*, p. 88.

lho na RI, quando a ocasião se proporcionasse. Passado uns dias, Faraday veio trabalhar temporariamente como secretário de Davy, que recuperava do acidente na vista.

As circunstâncias da vida ditaram que um dos assistentes de Davy, William Payne, tivesse sido despedido por ter assaltado um construtor de instrumentos. Davy informou Faraday desta possibilidade de emprego, escarmentando-o, todavia, de que a actividade científica era vida dura e mal remunerada para aqueles que a serviam. Faraday aceitou a proposta e foi logo contratado como assistente em 1 de Março de 1813.

Houve outro elemento de sorte na ligação de Faraday ao seu mentor. Recentemente casado, Davy e a esposa decidiram, por Outubro de 1813, fazer uma viagem ao Continente, instalados em carruagem própria. A França e a Inglaterra estavam em guerra, mas Davy conseguiu o passaporte graças a amigos franceses do “*French Institute*”. O criado de Davy devia ir na viagem, mas à última hora decidiu ou não pôde ir. Faraday foi convidado para os acompanhar na qualidade de secretário e de criado só até os Davy chegarem ao Continente, onde procurariam arranjar alguém para a função. O que não conseguiram, pelo que Faraday serviu nesta dupla função durante os 18 meses da viagem, mas Davy limitou os seus pedidos pessoais ao mínimo.<sup>14</sup>

O pretexto da viagem era o estudo de vulcões: extintos na região de Auvergne e activos em Itália. Mas como terá sido excitante para Faraday, quase acabado de chegar à RI e que nunca antes havia saído de Londres, viajar, ouvir outros cientistas e seguir ao vivo o mestre nas suas investigações! Ele mesmo nos dá conta dos sentimentos que experimentou em carta a um amigo, Robert Abbott: «*The constant presence of Sir Humphry Davy is a mine of inexhaustible knowledge and improvement and the glorious opportunity I enjoy of improving in the knowledge of chemistry and the sciences continue determine me to finish the voyage with Sir Humphry Davy*»<sup>15</sup>.

Chegados a Paris pelo fim de Outubro, foram calorosamente acolhidos por Ampère, Berthollet, Cuvier, Chevreul, Gay-Lussac, Guyton de Morveau

---

<sup>14</sup> *Id.*, p. 100.

<sup>15</sup> *Id.*

e Laplace. Em 23 de Novembro, Ampère, Clément e Désormes pediram a Davy que estudasse uma nova substância, com um vapor de cor violeta, que Courtois havia descoberto em cinzas de umas algas. Com o seu *kit* experimental de viagem, Davy em breve viu que tinha comportamento semelhante aos compostos de cloro e flúor que havia estudado e assim identificou um novo elemento, o iodo. Faraday acompanhou estas actividades e no seu diário relata que deixaram Paris a 29 de Dezembro, rumo a Montpellier.<sup>16</sup>

DE UM PROFESSOR DE DIREITO do meu irmão rezava a tradição estudantil, em louvor das suas qualidades pedagógicas, que no primeiro quarto de hora de aula revia a matéria da aula anterior, no segundo quarto de hora dava matéria nova e no terceiro apresentava a aula seguinte. E mantinha a audiência sempre atenta, contando algumas histórias, por vezes apimentadas, mormente na boca de um sacerdote. Descontado o exagero da caricatura, um ciclo de palestras como as da RI, de que “A História Química de uma Vela” de Michael Faraday é exemplo paradigmático, permite explicar sem pressas e atropelos as ideias a reter. A oralidade das palestras, quase sob a forma de uma aula para jovens, está bem presente nesta obra. A atenção dos jovens é tomada pelo ritmo das experiências, recheadas de efeitos espectaculares ou fazendo apelo a observações do quotidiano: «Vocês dificilmente pensariam que aquelas substâncias que voam em torno de Londres, fuligem e nuvens de carvão, são a beleza e a vida de uma chama, que arderam nela como a limalha de ferro ardeu aqui». Londres era uma cidade bastante poluída nos tempos de Faraday.

E a pertinência do tema ainda é dos nossos dias: «Tão elevada é a sua riqueza intrínseca, tão maravilhosas as contribuições que pode oferecer a todos os ramos da Filosofia. Não existe lei nenhuma no universo que não esteja de alguma forma relacionada com este fenómeno». A combustão, tão central em todas as transformações dos mecanismos da vida, do fogo, do aquecimento, da luz! As palestras trazem-nos um ensinamento que o orador não quer que fique escondido, nos aspectos naturais da combustão ou da

---

<sup>16</sup> *Id.*, pp. 101-102.

maior ou menor beleza das próprias velas: «Este tipo de madeira é um dos melhores exemplos do princípio de uma vela. A fonte de combustível, o meio de levar o combustível para o local da reacção química, o fornecimento regular e gradual de ar, o calor e a luz, produzidos por um pequeno pedaço desta madeira que é, de facto, uma vela natural. [...] O mais importante para nós não é a aparência, mas a eficácia». Contudo «os maiores erros e enganos em relação a velas, ou a outras coisas, transportam consigo ensinamentos, que não obteríamos se esses erros não tivessem ocorrido». Muitos destes ensinamentos teve-os Faraday directamente de Davy na invenção de uma lâmpada segura para uso nas minas, em Outubro de 1815.

Já vai longo este Prefácio, afastando o leitor do essencial da obra, na qual Faraday vai abordar todos os temas de uma «forma honesta, séria e filosófica», em suma científica, pois a ciência também implica uma ética. Se Faraday teria alguma razão de queixa das dificuldades que Davy, ao tempo Presidente da *Royal Society*, levantou, sem qualquer êxito, à proposta da sua eleição como *Fellow of Royal Society*, a verdade é que não trouxe ressentimentos pessoais do episódio. Sir Harold Hartley escreveu: «*There is no doubt that Davy canvassed against Faraday's election, but when the ballot was taken in 8 January 1824 he was elected with only a black ball. Was Davy's opposition due to his realization that Faraday election would change fundamentally their relative positions? It is a sad story. However, the magnanimous and grateful Faraday never harboured any feeling of resentment on account of it.*»<sup>17</sup>

Em nossos dias, os “museus de ciência” procuram ter programas de conferências vocacionados para a atracção dos jovens para a Ciência, ao estilo das conferências da RI. Parece-me pois apropriado, em conclusão deste prefácio, transmitir-vos a vivência e o entendimento que, a este respeito, uma pessoa do “Museu da Ciência da Universidade de Coimbra”, Carla Filipa Pires de Oliveira, nos transmitiu na sua tese de mestrado do Ensino da Física e da Química em Julho de 2010. Escutemo-la: «Um exemplo notável da utilização do *ensino demonstrativo* são as palestras que Michael Faraday proferiu no ano de 1848, no âmbito do ciclo de *Christmas Lectures*.

---

<sup>17</sup> *Id.*, p. 137.

São seis palestras sobre a “*História Química de uma Vela*” direccionadas especificamente para o público jovem. É um bom exemplo de como se pode praticar este método de ensino, porque Faraday consegue com uma simples vela, explorar um leque diversificado de conceitos científicos e ao mesmo tempo, consegue colocar o público activo, a pensar, a questionar, a observar, a analisar e a concluir com base na experiência. Além disso, as suas palestras são um bom ensinamento para um professor. Faraday ao longo das suas palestras preocupa-se sempre em interligar todos os conceitos e fazer revisões, palestra após palestra. Ele é um verdadeiro autodidacta, curioso, crítico, com grande capacidade de habilidade experimental e de retórica. Consegue ainda ser muito imaginativo e livre mas, no entanto, está sempre ligado às suas pesquisas experimentais. Faraday tinha o hábito de colocar questões no fim da palestra para o seu público reflectir em casa. Esta estratégia é boa porque permite que se estabeleça um fio condutor e uma sequência lógica entre os conceitos e as palestras. Segundo ele, todos os materiais e equipamentos envolvidos na apresentação das suas palestras, têm que conseguir despertar atenção do público, de forma a que os seus olhos e ouvidos estejam aptos para aquisição de novos conhecimentos, e desta forma consigam receber informações com clareza e facilidade tais, que as ideias assim obtidas sejam memorizadas com consistência e estrutura.

Esta forma tão singular e metódica de Faraday é um bom ensinamento para o professor poder aplicar quando assim se justificar este método de ensino; que cuidados a ter e quais as suas principais características. É também uma demonstração de que o ensino demonstrativo não tem de conduzir necessariamente a uma atitude passiva, mas pode também, se for bem conduzido, estimular a capacidade interrogativa e o sentido crítico dos alunos, bem como desenvolver a capacidade de resolver problemas novos se culminar com desafios para resolver em casa». <sup>18</sup>

Praia da Barra, Agosto de 2010.

Sebastião Formosinho

---

<sup>18</sup> OLIVEIRA, Carla Filipa P. – “Relatório de Mestrado em Ensino da Física e da Química”. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

(Página deixada propositadamente em branco)

## NOTA DOS TRADUTORES

A ideia de traduzirmos a *História Química de uma Vela* surgiu ao darmos conta de que em 2011, *Ano Internacional da Química*, passariam 150 anos sobre a publicação deste importante livro de divulgação da química que não havia ainda sido editado em Portugal<sup>19</sup> e de que, na biblioteca do Departamento de Química da Universidade de Coimbra, existia uma cópia da edição original de 1861.

As presentes seis lições foram proferidas por Michael Faraday na *Royal Institution* nas férias de Natal de 1860/1861<sup>20</sup> perante uma audiência de jovens, que na altura teriam idades entre os 15 e os 20 anos,<sup>21</sup> e muitos adultos. A versão impressa, editada por William Crookes, a partir da transcrição estenografada das lições que Faraday, com muita relutância, aceitou que fosse realizada, foi inicialmente publicada em seis artigos da revista *Chemical News*, editada por Crookes, poucas semanas depois de terem sido proferidas, reproduzidas *verbatim* por especial permissão;<sup>22</sup> o livro saiu em Março de 1861, já com as notas que se reproduzem na presente edição, uma introdução assinada por Crookes (a qual afinal terá sido escrita por

---

<sup>19</sup> Existe uma tradução brasileira da autoria de RIBEIRO, Vera – “A história química de uma vela; as forças da matéria”. Rio de Janeiro: Contraponto, 2003.

<sup>20</sup> As lições foram proferidas nos dias 27 e 29 de Dezembro de 1860 e 1, 3, 5 e 8 de Janeiro de 1861.

<sup>21</sup> Cf. JAMES, Frank A. J. L. – “Christmas Lectures at the Royal Institution”. Singapore: World Scientific, 2007, p. XVI. Na altura, o auditório da *Royal Institution* tinha capacidade para mais de mil pessoas.

<sup>22</sup> Nos números de 5, 12, 19 e 26 de Janeiro e 2 e 9 de Fevereiro de 1861: *Chemical News* 3, 1861, 6-10; 24-27; 42-46; 57-60; 72-76; 84-88.

Charles Hanson Greville Williams)<sup>23</sup> e ainda uma lição de Faraday sobre a platina proferida a 22 de Fevereiro de 1861. É digno de nota que, poucos dias depois de terem sido proferidas as lições, tenham aparecido dois resumos destas na revista *British Medical Journal*,<sup>24</sup> para além de terem sido noticiadas em várias outras publicações da época, tal foi o interesse público por estas lições. Faraday terá aceitado a publicação das lições porque estaria preocupado com o florescimento do espiritismo, que não só ofendia as suas crenças religiosas como considerava uma ignorância científica espantosa num país culto.<sup>25</sup>

Na presente tradução, procurou-se ser fiel, tanto quanto possível, à vivacidade e coloquialidade das lições. Faraday é ainda hoje um exemplo de excelência pedagógica, o que é devido não só ao seu talento, mas também à meticulosa planificação das experiências e ensinamentos. Note-se que, num conjunto de seis lições de uma hora cada, são apresentadas mais de setenta demonstrações, o que dá a média de cerca de cinco minutos por demonstração.

A segunda metade da década de 1850 foi particularmente rica em novas descobertas científicas, desde os primeiros corantes sintéticos de Perkin, em 1856, à utilização da espectroscopia como método analítico com Bunsen e Kirchhoff, em 1859. Faraday, nas presentes *Lições*, mostra conhecer muito bem a ciência da época, assim como, em alguns casos, temas que só serão investigados mais tarde. É notável que, passados 150 anos, haja muito poucos reparos científicos a fazer ao texto. Tal deve-se talvez, como terá sido dito por Friedrich Kohlrausch,<sup>26</sup> à extraordinária capacidade de Faraday para *cheirar a verdade*, mas também, na nossa opinião, à forma como trata os temas numa perspectiva empírica e sem recurso a conceitos e explica-

---

<sup>23</sup> JAMES, Frank A. J. L. – *The letters of William Crookes to Charles Hanson Greville Williams 1861-2: The detection and isolation of thallium*. *Ambix* 28, 1981, 131-157.

<sup>24</sup> Nos números de 5 e 12 de Janeiro de 1861 do *British Medical Journal*, pp. 18-19; pp. 49-51.

<sup>25</sup> Cf. JAMES – “Christmas Lectures at the Royal Institution” p. XX-XXI. É de certa forma irónico que as teorias espíritas tenham sido mais tarde defendidas pelo editor do livro, William Crookes.

<sup>26</sup> Citado por John Tyndall – “Faraday as a Discoverer”, 1868.

ções teóricas elaboradas. No entanto, em alguns (muito poucos) casos, em particular nas notas que terão sido da autoria de Crookes, há afirmações que hoje consideramos menos correctas e para as quais chamamos a atenção nas notas de tradução. Para além disso, procurou-se incluir notas não só explicativas, mas também científicas, históricas e culturais. Finalmente, optou-se por não incluir na edição a *Lição sobre a Platina*, a qual, embora tenha também o seu próprio interesse histórico,<sup>27</sup> não nos pareceu relevante para a presente edição.

Agradecemos ao Professor Frank James, da *Royal Institution*, a disponibilidade para ajudar a esclarecer alguns aspectos menos claros do texto original e das circunstâncias históricas da primeira edição. Ao Professor Formosinho agradecemos a leitura que fez da tradução, assim como a disponibilidade para fazer o prefácio à edição portuguesa da obra. À Sociedade Portuguesa de Química agradecemos o apoio para a presente edição.

Maria Isabel Prata

Sérgio Rodrigues

---

<sup>27</sup> *The Faraday Lecture on Platinum*, *Platinum Metal Rev.*, 34, 1990, 14.

(Página deixada propositadamente em branco)

## **PREFÁCIO DA EDIÇÃO ORIGINAL**

Desde a primitiva tocha de pinho até à vela de parafina, que enorme intervalo entre elas e que contraste tão profundo! Os meios adoptados pelo homem para iluminarem as suas casas à noite definem a sua posição na escala da civilização. O betume fluido do Extremo-Oriente brilhando em rudes vasos de barro cozido, a sofisticada lâmpada etrusca pouco adaptada à sua função; a gordura de baleia, de foca ou de urso enchendo as cabanas dos esquimós e lapões, com mais cheiro do que luz; a grossa vela de cera no resplandecente altar; toda a gama de lâmpadas de gás das nossas ruas – todas têm uma história para contar. Todas, se pudessem falar (e a seu modo até podem), aqueceriam os nossos corações contando-nos como estiveram ao serviço do conforto do homem, do seu amor ao lar, ao trabalho e à devoção.

Certamente que, de entre os milhões de adoradores do fogo e seus utilizadores que viveram em épocas passadas, alguns se devem ter interrogado sobre os mistérios do fogo, e talvez que os mais argutos tenham estado muito perto da verdade.

Pensem nos tempos em que os homens viveram na mais completa ignorância: pensem que só durante um período de tempo comparável à duração da vida de um homem a verdade se tornou conhecida.

Átomo a átomo, ligação a ligação, assim se foi construindo a cadeia do raciocínio. Alguns dos elos, construídos demasiado rapidamente e por isso frágeis, desapareceram e foram substituídos por trabalho mais bem feito; mas agora o grande fenómeno é conhecido – o seu contorno foi desenhado de uma forma correcta e firme –, artistas astutos preenchem o interior, e os jovens que assistem a estas conferências sabem mais sobre o fogo do que sabia Aristóteles.

A vela é agora produzida para iluminar os locais escuros da natureza; o maçarico e o prisma levam-nos a conhecer a crosta terrestre, mas a tocha chegou primeiro. Entre os leitores deste livro, alguns, poucos, hão-de dedicar-se a aumentar os armazéns do conhecimento: a Lâmpada da Ciência deve continuar a arder. *“Alere flammam.”*

W. C. [sic]

## LIÇÃO 1

Uma vela: a chama – as suas fontes – estrutura – mobilidade – brilho

Proponho, em troca da honra que me dão em virem até aqui para nos conhecerem, trazer-vos, no decurso destas lições, a História Química de uma Vela. Eu já abordei este tema numa ocasião anterior;<sup>28</sup> mas, se dependesse apenas da minha vontade, trataria o mesmo tema uma e outra vez – tão elevada é a sua riqueza intrínseca, tão maravilhosas as contribuições que pode oferecer a todos os ramos da Filosofia.<sup>29</sup> Não existe lei nenhuma no universo que não esteja de alguma forma relacionada com este fenómeno. Nenhum caminho é mais aberto, nem nos conduz melhor ao estudo da Filosofia Natural, que o estudo dos fenómenos físicos de uma vela. Assim, espero não vos desapontar tratando de novo este tema, ao invés de introduzir um novo tópico, que, acredito, não poderia ter tanto interesse como este.

Antes de continuar, deixem-me ainda dizer que, apesar de considerar este assunto tão elevado e ser minha intenção tratá-lo de uma forma ho-

---

<sup>28</sup> Faraday já havia proferido estas lições cerca de doze anos antes, em 1848; o entusiasmo foi tal que muitas pessoas, como por exemplo Charles Dickens, e editores lhe pediram repetidamente que as publicasse. (NT)

<sup>29</sup> Michael Faraday usa as expressões, comuns à época, *Philosophy* e *Natural Philosophy*. De facto, Michael Faraday sempre se considerou um Filósofo Natural. Por essa altura, em Portugal, a formação em química e física era obtida na Faculdade de Filosofia da Universidade de Coimbra; uma visão geral das actividades dos investigadores portugueses da época pode ser encontrada na obra de CARVALHO, Joaquim Augusto Simões de – *Memória Histórica da Faculdade de Philosophia*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 1872. (NT)

nesta, séria e filosófica, mesmo assim não me vou preocupar em falar para os mais velhos que estão entre nós. Concedo-me o privilégio de falar para jovens, como se eu próprio fosse um jovem. Assim o fiz noutras ocasiões e, se me permitem, assim o farei novamente. E, apesar de me encontrar aqui conhecendo as palavras que devo proferir ao mundo, isso não me impedirá de utilizar palavras familiares para vós, que muito estimo estarem aqui comigo hoje.

E agora, meus rapazes e minhas raparigas, tenho que começar por vos explicar de que são feitas as velas. Algumas delas são muito curiosas. Tenho comigo alguns pedaços de madeira e ramos de árvores particularmente famosos pelo modo como ardem. E aqui, podem ver, um bocado desta substância tão curiosa, retirada de algum paul irlandês, denominada *vela de pau*,<sup>30</sup> uma excelente madeira, muito dura, utilizada em obras que necessitem de grande resistência e que, apesar disso, arde tão bem que nos locais onde existe se fazem *cavacos* e tochas, já que arde como uma vela, originando uma luz muito boa. Este tipo de madeira é um dos melhores exemplos do princípio de uma vela. A fonte de combustível, o meio de levar o combustível para o local da reacção química, o fornecimento regular e gradual de ar, o calor e a luz, produzidos por um pequeno pedaço desta madeira que é, de facto, uma vela natural.

Mas vamos falar das velas tal como as podemos encontrar no comércio. Eis aqui um par de velas habitualmente conhecidas por velas de sebo. Feitas de tiras de algodão penduradas numa argola, são mergulhadas em sebo fundido; quando retiradas do sebo, arrefecem e de novo se mergulham até haver uma acumulação de sebo em torno do algodão. De modo a que possam ter uma ideia das características destas velas, vejam esta na minha mão – são muito pequenas e singulares. São, ou foram, utilizadas pelos mineiros das minas de carvão. Antigamente os mineiros tinham que fabricar

---

<sup>30</sup> *Candle-wood (vela de pau)*, também conhecida como *bogwood*, é uma madeira extraída dos paus irlandeses, a qual, tendo ficado enterrada e mergulhada abaixo do nível da água durante milhares de anos, é apropriada para iluminação e outras funções referidas no texto. Em Portugal, embora madeiras com características semelhantes possam também ser encontradas, não se conhece uma tradição cultural tão forte na sua utilização, como no caso da Irlanda. (NT)

as suas próprias velas, e as pequenas eram mais seguras do que as grandes porque, supostamente, não incendiavam os gases combustíveis das minas de carvão; por esse motivo, e também por razões económicas, as velas dos mineiros pesavam 20, 30, 40 ou 60 partes de uma libra.

Estas velas foram depois substituídas por *moinhos de pederneira*, lâmpadas de Davy e por outros tipos de lâmpadas mais seguras.<sup>31</sup> Tenho aqui uma vela que foi retirada do *Royal George* (nota 1)<sup>32</sup>, diz-se que pelo Coronel Pasley. Esteve mergulhada no mar durante muitos anos, sujeita à acção da água salgada. O que nos demonstra como as velas são resistentes; apesar de rachada e um pouco partida, mesmo assim, quando a acendemos, arde normalmente e o sebo retoma as suas características naturais logo que fundido.

Mr. Field, de Lambeth, forneceu-me inúmeros exemplos de velas e dos materiais de que são feitas. O primeiro exemplo – gordura de boi –, o sebo russo, creio que utilizado na manufactura dessas velas de sebo que Gay-Lussac, ou alguém que partilhou com ele os seus conhecimentos, transformou nesta maravilhosa substância, a estearina, que vocês podem ver aqui atrás. Como vêem, esta vela deixou de ser um objecto gorduroso, como as vulgares velas de sebo, tem mesmo um ar limpo, e vocês podem raspá-la ou soprar as gotas que dela caem sem sujarem seja o que for. O processo seguido por Gay-Lussac foi o seguinte (nota 2): a gordura ou sebo é primeiro fervida com cal viva e transformada em sabão; de seguida o sabão é decomposto com ácido sulfúrico, libertando a cal e produzindo uma gordura rearranjada na forma de ácido esteárico e glicerina. A glicerina – um açúcar ou uma substância similar a um açúcar – separa-se do sebo através desta reacção química. Prensando a mistura, liberta-se o óleo; podem observar esta série de “bolos prensados” e comprovar o modo como o óleo arrasta as impurezas

---

<sup>31</sup> *Steel-mill (moinho de pederneira)* era um tipo de artefacto de iluminação usado em minas, o qual era baseado na emissão de partículas de ferro incandescente geradas por fricção. A presença de chamas nas minas de carvão foi, desde sempre, uma grande preocupação, devido à possibilidade de ocorrência de explosões. No entanto, a presença de chamas também servia como indicador da presença de gases tóxicos ou explosivos. A Lâmpada de Davy, ao cercar a chama com uma malha metálica, veio aumentar muito a segurança nas minas; um outro avanço foi a lâmpada de carbureto, ainda hoje usada por espeleólogos. (NT)

<sup>32</sup> As notas originais da obra encontram-se no final do livro. (NT)

à medida que a pressão sobre a glicerina aumenta, para finalmente se obter esta substância que é fundida e vertida de modo a formar velas como estas aqui representadas. A vela que tenho na mão é uma vela de estearina fabricada a partir da estearina do sebo pelo processo que acabei de vos referir. Depois, temos uma vela de espermacete, que é obtida do óleo purificado de cachalote. Aqui, cera amarela de abelha e cera refinada de abelha, com as quais também se fazem velas. E outra substância curiosa, chamada parafina, e ainda algumas velas feitas de parafina obtida nos paus irlandeses. Tenho aqui ainda uma outra substância trazida do Japão, desde que nós “forçámos a entrada” nesse lugar remoto, uma espécie de cera que me foi enviada por um querido amigo, um novo material com o qual é possível fabricar velas.

E como é que são produzidas todas estas velas? Eu falei-vos das velas de sebo, e vou mostrar-vos como são feitos os moldes. Vamos imaginar que todas estas velas são feitas de um material que pode ser moldado. “Moldado!”, dizem vocês. “Como uma vela é qualquer coisa que funde, e seguramente pode ser fundida, pode também ser moldada.” Não é bem assim. É espantoso verificar, perante um processo de manufactura, e tendo em consideração os melhores meios para produzir um determinado resultado, que muitas vezes as coisas ocorrem de modo muito diferente do que tínhamos inicialmente imaginado. As velas nem sempre são moldáveis. Uma vela de cera não pode ser moldada. Uma vela de cera é produzida de outro modo, que poderia ilustrar num minuto ou dois, mas não devo perder muito tempo com essa explicação. A cera é um material que, apesar de arder tão bem e fundir tão facilmente numa vela, não se consegue moldar. Vamos então ver uma substância que se pode moldar. Temos aqui esta forma que fixa um determinado número de moldes. A primeira coisa a fazer é colocar um pavio em todos eles. Eis aqui um pavio revestido – que não precisa de ser abafado (nota 3)<sup>33</sup> – suportado por um pequeno arame.

---

<sup>33</sup> A expressão *snuffing* (abafar) corresponde à acção de apagar a vela usando um objecto que pode não só abafá-la como também servir para cortar o pavio com uma tesoura especialmente desenvolvida para o efeito. Em qualquer dos casos, o objecto é conhecido como *snuffer* e o objectivo é minimizar a emissão de fumos e regularizar a emissão de luz; estes objectivos são também conseguidos com o revestimento do pavio referido no texto e nota original. (NT)

Vai até ao fundo do molde, onde é firmemente seguro num pequeno orifício, apertado de modo a que nenhum fluido possa sair através dele. Na parte de cima do molde, uma pequena barra que o atravessa faz com que o pavio permaneça esticado e fixo. O sebo é então fundido e enchem-se os moldes. Após algum tempo, quando os moldes já arrefeceram, o excesso de sebo é retirado e a parte de cima do pavio cortada. As velas continuam no molde e só têm que se preocupar em mantê-las equilibradas, tal como eu estou aqui a fazer, para que não caiam, o que é importante para as velas em forma de cone, mais estreitas em cima do que na base, que apenas precisam de um pequeno toque para caírem. As velas de parafina e estearina são fabricadas do mesmo modo. As velas de cera de abelha são fabricadas por um processo curioso. Vários fios de algodão são fixos em armações e cobertos por um pedaço de metal nas extremidades para que a cera não cubra o algodão nesses locais. São então transportados para perto de um fogão onde a cera é derretida. Como podem observar, as armações podem ser rodadas e, à medida que rodam, pega-se num copo de cera e vai-se cobrindo com uma camada cada um dos fios de algodão. Depois da primeira volta, se estiverem suficientemente frios, dá-se-lhes uma segunda camada, e por aí fora até que fiquem com a espessura pretendida. Quando os algodões ficam finalmente cobertos ou cheios, com a espessura adequada, são retirados e colocados noutra local.<sup>34</sup>

Tenho aqui, por gentileza de Mr. Field, alguns espécimes destas velas. E aqui está uma por acabar. De seguida as velas são roladas numa fina placa de pedra, o seu topo cónico moldado e a parte de baixo cortada e alisada. O processo é tão perfeito que se conseguem fabricar velas com exactamente um quarto ou um sexto de libra, ou de outro tamanho qualquer de que se goste.

---

<sup>34</sup> As velas de cera de abelha pura podem ser feitas por vários processos: na época, os mais comuns seriam aquele que é referido no texto e o enrolamento de folhas de cera em torno do pavio. A fusão da cera seguida de solidificação num molde que contém o pavio é bastante difícil, pois surgem rachas e cavidades nas velas, tendo o processo de ser realizado de forma faseada; é essa a razão por que Faraday refere que não podem ser feitas dessa forma. Cf. COWAN, T. W. *Wax – Craft*. 1908, pp. 122-127. (NT)

Mas não nos devemos deter por mais tempo na mera manufactura de uma vela, pelo contrário devemos ir mais longe neste tema. Ainda não me referi ao luxo de uma vela (se é que há qualquer coisa de luxuoso numa vela). Vejam a beleza das cores: malva, magenta e todos os pigmentos químicos recentemente descobertos<sup>35</sup> que se podem aplicar a velas. Podemos também observar diferentes formas utilizadas: aqui uma vela canelada, moldada de uma forma maravilhosa. Tenho também aqui algumas velas, enviadas por Mr. Pearsall, ornamentadas com desenhos em relevo, de modo que, quando ardem, parecem um sol brilhante ou um *bouquet* de flores. No entanto, nem tudo o que é belo é útil. Estas velas caneladas, apesar de tão bonitas, são más como velas; não são eficientes devido à sua forma externa. Mostro-vos todos estes tipos de velas, enviadas por amigos e vindas de diferentes regiões e países, para que vocês vejam o que pode ser feito, mas, como afirmei, quando atingimos este grau de refinamento somos obrigados a sacrificar um pouco a utilidade.

E agora, a luz da vela. Vamos acender uma ou duas e deixá-las cumprir a sua função natural. Podem observar que uma vela é muito diferente de uma lamparina. Numa lamparina vocês pegam num pouco de óleo, enchem o vosso recipiente, colocam-lhe um bocado de musgo seco<sup>36</sup> ou um pavio artificial de algodão e, de seguida, acendem a parte de cima do pavio. Quando a chama desce pelo pavio até ao óleo, vai-se extinguindo, mas continua a arder na parte de cima. Agora vocês hão-de perguntar-me como é que o óleo, que não arde por si só, chega ao cimo do algodão e aí arde. Podíamos tentar explicar isto, mas há coisas mais maravilhosas no arder de uma vela. Temos aqui uma substância sólida, sem nenhum vaso para a conter; como é que este sólido sobe e chega ao local da chama? Como se move este sólido não sendo um fluido? Ou se, pelo contrário, se transfor-

---

<sup>35</sup> Faraday refere-se à mauveína e aos pigmentos sintéticos relacionados descobertos por Perkin em 1856 quando procurava sintetizar quinino. Cf. COSTA, A. A. Amorim da – *Bol. Soc. Port. Quím.*, 105 (2009) 31, para uma visão histórica, e MELO, J. S. Seixas de ; [et al.] – *Chem. Commun.* (2007) 2624, para uma investigação actual sobre os pigmentos sintetizados por Perkin. (NT)

<sup>36</sup> Alguns tipos de musgo seco eram usados como pavios nas lamparinas. Em Portugal não sabemos se seria também assim, mas há notícia do uso de partes secas da planta conhecida como erva-dos-pavios (*Ballota nigra* L.) para o mesmo efeito. (NT)

ma num fluido, como é que mantém a sua forma? Esta é uma propriedade maravilhosa das velas.

Temos aqui uma leve brisa que nos vai ajudar nalgumas demonstrações mas importunar noutras; assim, para termos alguma regularidade e para simplificar as explicações, tenho que obter uma chama calma; para quê introduzir dificuldades adicionais se não têm nada a ver com o assunto que estudamos? Aqui temos uma invenção inteligente dos vendedores de rua ou do mercado para protegerem a luz das suas velas nas noites de sábado, quando vêm vender os seus legumes, batatas ou peixe. Colocam um vidro de candeia, em torno da vela, seguro num suporte, de modo que possa subir e descer segundo as necessidades. Usando o mesmo tipo de vidro de candeia, conseguimos uma chama estacionária, que podemos observar atentamente, e espero que vocês o façam em casa.

Em primeiro lugar, podem ver que se forma uma linda taça. À medida que o ar chega à vela, move-se para cima devido à força da corrente produzida pelo calor da vela, o ar vai arrefecer todos os lados da cera, sebo, ou combustível, ficando as partes externas muito mais frias do que o interior da vela; o interior da vela entra em fusão por acção da chama, que desce pelo pavio tão longe quanto pode ir sem se extinguir, mas o lado de fora da vela nunca funde. Se eu provocar uma corrente noutra direcção, a minha taça ficará invertida e o fluido derramar-se-á; porque a mesma força da gravidade que mantém o nosso universo unido mantém este fluido numa posição horizontal e, se a taça não estiver horizontal, verterá o líquido formando goteiras. Se eu provocar uma corrente noutra direcção, a vela tombará de lado e o fluido, obviamente, escapará; a mesma força da gravidade que o manteve na horizontal fá-lo agora sair da vela. Podem então verificar que a taça é originada por esta bela corrente de ar ascendente, tocando todos os lados da vela, e que mantém o exterior da vela frio. Nenhum material combustível servirá para fazer uma vela se não possuir esta propriedade de gerar uma taça, exceptuando a madeira dos paus irlandeses, que se comporta como uma esponja mantendo o seu próprio combustível. Compreendem agora a razão pela qual aquelas lindas velas que vos mostrei, irregulares na sua forma, não dão bons resultados enquanto velas, porque não conseguem formar a taça que constitui a beleza de uma vela. Espero que percebam agora que a perfeição de um processo, a sua

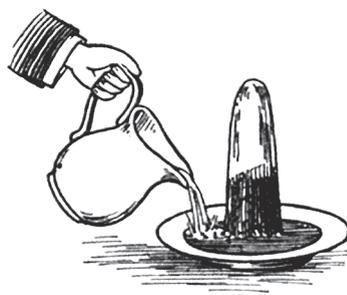
utilidade, é o que de mais belo há em si. O mais importante para nós não é a aparência, mas a eficácia. Esta vela, aparentemente tão bonita, não é uma boa vela. Formar-se-ão sulcos em torno dela, devido à irregularidade da corrente de ar, originando uma taça mal formada. Veremos alguns exemplos interessantes (e tenho a certeza de que os compreenderão) da acção da corrente ascendente quando tiverem uma pequena goteira a descer por um dos lados da vela, tornando-a mais espessa desse lado do que no resto da sua superfície. Enquanto a vela arde, forma-se como que um pequeno pilar nas partes laterais da vela, que, ficando mais alto do que o resto da vela, permite que o ar circule melhor em seu torno, arrefecendo-o mais eficientemente e permitindo-lhe resistir melhor à acção do calor que não se encontra longe. Assim, os maiores erros e enganos em relação a velas, ou a outras coisas, transportam consigo ensinamentos, que não obteríamos se esses erros não tivessem ocorrido. Deste modo vamos ao encontro dos filósofos, e espero que se lembrem que, sempre que observarem um determinado resultado, especialmente se se tratar de um novo resultado, devem interrogar-se “O que o causou? Porque é que isto aconteceu?” e verão que, com o decorrer do tempo, hão-de encontrar uma resposta. Há ainda outro aspecto relacionado com as velas que requer uma resposta – o que é o fluido, e de que forma sai da sua taça e segue através do pavio até ao local de combustão? Já verificaram que as chamas dos pavios das velas de cera de abelha, de estearina ou de óleo de cachalote não mergulham na cera ou nos outros materiais, mas permanecem no local exacto da combustão. Permanecem isoladas do fluido e não ultrapassam os lados da taça. Não posso imaginar nenhum exemplo tão bonito como o ajuste perfeito em que uma das partes da vela permanece subserviente em relação à outra, em benefício do fim para que foi criada a própria vela. Um combustível como este, ardendo gradualmente, nunca sendo invadido pela chama, é uma visão muito bonita, especialmente quando nos apercebemos de quão vigorosa é uma chama, com o seu poder de destruição da cera, desde que entre em contacto com ela, perturbando a sua forma própria se dela se aproximar demasiado.

Mas como é que a chama se mantém fora do alcance do combustível? A explicação é muito bonita – por *atracção capilar* (nota 4). “Atracção capilar!” dizem vocês – “atracção dos cabelos”. Bem, o nome não importa, foi-lhe dado

há muito tempo, quando este fenómeno ainda não era bem compreendido. É por capilaridade que o combustível é conduzido até ao local de combustão e é aí depositado, não de qualquer maneira, mas delicadamente, no centro da acção, que decorre à sua volta. Agora, vou dizer-vos uma ou duas coisas sobre a capilaridade. A capilaridade é uma acção ou atracção que permite que duas substâncias que não são solúveis possam permanecer juntas. Quando lavam as mãos, vocês molham-nas cuidadosamente, depois pegam num bocado de sabão ou sabonete para aumentar a adesão e as vossas mãos mantêm-se molhadas. Isto devido às forças de atracção de que estou a falar-vos. E ainda tem mais: se as vossas mãos não estiverem sujas (o que não é habitual) e se colocarem um dedo em água quente, a água “rasteja” um pouco pelo dedo acima, embora vocês possam não se dar conta de que isso acontece.

Tenho aqui uma substância bastante porosa – uma coluna de sal sobre um prato – e vou colocar no prato, não água, como parece, mas uma solução saturada de sal, uma solução que não consegue absorver mais sal, de modo que o que vocês vão observar não se relaciona com nenhuma dissolução. Imaginem que o prato é a vela e que o sal é o pavio, e esta solução é o sebo fundido (eu corei o líquido de modo a que vocês possam observar melhor o que se vai passar). Vejam que, à medida que eu despejo o líquido, ele sobe gradualmente pela coluna de sal, mais e mais, e desde que a coluna não tombe há-de atingir o topo da coluna.

Se esta solução azul fosse combustível e no topo da coluna estivesse um pavio, o líquido arderia quando atingisse o pavio. É muito curiosa a forma como estas coisas ocorrem. Quando vocês lavam as mãos e pegam numa toalha para as limpar, é também esta atracção que faz com que a toalha fique molhada, tal como o pavio fica molhado com o sebo. Conheci alguns rapazes e raparigas pouco cuidadosos



*Fig. 1*

(na verdade também acontece aos cuidadosos) que, depois de terem lavado as mãos e as terem enxugado com uma toalha, atiram com ela para um dos lados do lavatório e, passado um bocado, todo o chão está molhado, porque a

água saiu através da toalha, actuando como um sifão<sup>37</sup> (nota 5). Como vêem, é deste modo que as substâncias agem umas sobre as outras; tenho aqui um recipiente feito de uma rede fina metálica<sup>38</sup> e cheio de água, e podem comparar o seu comportamento com o algodão por um lado, ou com um bocado de *calico*,<sup>39</sup> por outro. De facto, os pavios são muitas vezes fabricados a partir de uma espécie de tela. Vão ver que este recipiente é poroso, de modo que, se eu derramar um pouco de água no cimo, ela “correrá” até ao fundo. Ficarão certamente por alguns momentos confusos se eu vos perguntar em que estado está este vaso, o que se encontra dentro dele e porquê? O recipiente está cheio de água e vocês vêem que a água entra e sai como se estivesse vazio. Para vos demonstrar isso só tenho que o esvaziar. E a razão é esta: a rede metálica, uma vez molhada, permanece molhada, os fios são tão finos que o líquido é atraído fortemente de um lado ao outro, mantendo-se dentro do recipiente, apesar de este ser poroso. Do mesmo modo, as partículas do sebo fundido sobem através do pavio de algodão e chegam ao cimo: outras partículas seguem as primeiras devido à sua atracção mútua e, à medida que atingem a chama, são gradualmente queimadas.

Aqui temos outra aplicação do mesmo princípio. Vejam este bocado de cana. Já vi rapazes na rua que, desejosos de parecerem adultos, pegam num pedaço de cana e acendem-na como se fosse um cigarro. A permeabilidade da cana e a sua capilaridade permitem-lhes agir desse modo. Se eu colocar este pedaço de cana num prato contendo *canfeno* (que tem propriedades muito semelhantes à parafina),<sup>40</sup> do mesmo modo que o líquido azul subia pela

---

<sup>37</sup> A relação do efeito de sifão com a capilaridade é aqui clara e correctamente enunciada por Faraday Cf. GANCI, S. ; YEGORENKOV, V. – *Eur. J. Phys.*, 29 (2008) 421-430. (NT)

<sup>38</sup> No original *wire-gauze*. Nas décadas anteriores a Faraday foram muito populares as demonstrações relacionadas com a capilaridade e o comportamento da água em relação a redes metálicas, referidas e.g. em *The Edinburgh Journal of Science* vol 6. (1831) p. 22 e *The Literary Gazette* de Janeiro de 1832 (exposição na Royal Institution). (NT)

<sup>39</sup> O *calico* é um tecido de algodão estampado de origem indiana relacionado com a *chita* que terá provavelmente a mesma origem desta última. (NT)

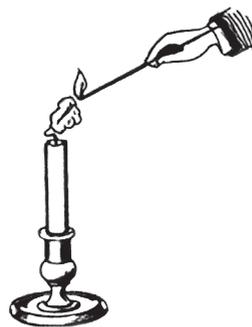
<sup>40</sup> Actualmente, *canfeno* designa um terpeno, usado na preparação de perfumes e aditivos alimentares. No século XIX, *canfeno* designava uma mistura de aguarrás e álcool usada como combustível para candeeiros que era, infelizmente, muito explosiva, tendo originado muitos acidentes. (NT)

coluna de sal, o canfeno vai subir através deste pedaço de cana. Não havendo poros de lado, o líquido é obrigado a deslocar-se ao longo do comprimento da cana. Agora que o líquido já está no topo da cana, posso acendê-lo e servirá de vela. O líquido deslocou-se por capilaridade ao longo do pedaço de cana do mesmo modo que no pedaço de algodão do pavio da vela.

E a vela não arde rapidamente ao longo do pavio porque o sebo fundido apaga a chama. Vocês sabem que uma vela virada ao contrário, de modo que o combustível escorra ao longo do pavio, apagar-se-á. Isto ocorre porque a chama não tem tempo de aquecer suficientemente o combustível de modo a que este arda, o que não acontece com a vela direita em que o combustível é transportado em pequenas quantidades através do pavio.

Há ainda outra coisa que vocês têm que aprender em relação às velas e sem a qual não entenderiam o fenômeno na sua essência, que é a natureza de vapor do combustível. Para perceberem melhor, vou mostrar-vos uma experiência muito elegante, apesar de muito simples. Se soprarem uma vela de uma forma cuidadosa, observarão o vapor que sai dela. Imagino que já tenham sentido o cheiro de uma vela apagada, que por acaso não é nada agradável, mas, se apagarem a vela cuidadosamente, podem observar a saída do vapor em que se transformou a matéria sólida. Vou soprar numa destas velas, mas vou fazê-lo de modo a não perturbar o ar que se encontra em volta; agora vou segurar um pavio incandescente a duas ou três polegadas de distância do pavio e podem então observar um traço de fogo caminhando através do ar até atingir a vela. Tenho que ser rápido, para não permitir que o vapor da vela arrefeça e condense, ou que perturbe a corrente de combustível.

Vamos agora debruçar-nos sobre a forma da chama. Estamos muito interessados em saber o que é que ocorre quando o material de que é feita a vela chega ao topo do pavio e produz a beleza e brilho que apenas uma combustão ou uma chama podem produzir. Conhecemos a beleza e brilho do ouro ou da prata, das mais



*Fig. 2*

belas pedras preciosas, como os rubis e os diamantes, mas nenhum deles rivaliza com o brilho e a beleza da chama. Que diamante brilha como uma chama? Durante a noite só é possível observar o brilho do diamante se uma vela o iluminar. Uma vela brilha na escuridão, mas o brilho do diamante não existe se uma vela não o iluminar. Uma vela brilha por si e para si só, mas também para todos os que a rodeiam. Vamos agora deter-nos na forma da chama tal como a podemos observar através da chaminé de vidro. A sua forma mantém-se constante. A forma da chama de uma vela, como a vemos neste diagrama, varia com as perturbações atmosféricas e também com o tamanho da vela.

Tem uma forma oblonga brilhante, mais brilhante no cimo do que na base, com o pavio no meio e, para além do pavio, no meio existem ainda outras regiões em baixo mais escuras, onde a combustão não é tão perfeita como no cimo da chama. Tenho aqui um esquema, desenhado há muitos anos por Hooker [sic],<sup>41</sup> aquando das suas investigações. É o desenho da chama de uma lamparina, mas aplica-se também à chama de uma vela. A taça da vela corresponde ao recipiente da lamparina, o óleo da vela ao spermacete fundido e o pavio é comum aos dois objectos. Por cima ele coloca uma pequena chama, e o que é real – uma pequena quantidade de matéria elevando-se, que vocês não veriam e não saberiam o que é se não estivessem com ela familiarizados ou não tivessem estado aqui antes. Ele representou aqui os constituintes da atmosfera em redor da vela que são essenciais para a chama e que têm que estar sempre presentes. Forma-se aqui uma corrente que atrai a chama e que a faz elevar, tal como Hooker



Fig. 3

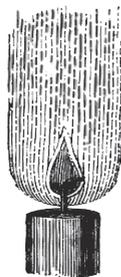
<sup>41</sup> Trata-se quase de certeza de uma gralha da transcrição da lição. Faraday refere-se muito provavelmente aos estudos de Robert Hooke (1635-1703) sobre a combustão e as chamas publicados nas obras *Micrographia* (1665) e *Lampas* (1677), hoje, e talvez já na época de Faraday, infelizmente largamente esquecidos. Cf. a antologia editada por JONES, H. M. ; COHEN, I. B. – *Science before Darwin*. London, 1963, p. 167. (NT)

a representou prolongando a corrente no diagrama. Podem observar isso mesmo se tomarem uma pequena vela e a puserem ao sol de modo que se obtenha a sua sombra numa pequena folha de papel. Que extraordinário que um objecto luminoso, capaz de produzir sombras de outros objectos, produza ele próprio uma sombra numa folha de papel ou cartão, de tal forma que vocês podem realmente ver tremeluzir em torno da chama qualquer coisa que não é a chama, mas que faz ascender e afastar a chama. Agora vou simular a luz do sol, aplicando uma pilha voltaica a uma lâmpada. Vêem agora o sol e a sua luminosidade e, colocando uma vela entre a luz e um papel, obtemos a sombra da vela.

Podem ver a sombra da vela e do pavio, depois uma parte mais escura tal como representado no diagrama e ainda outra parte distinta. Curiosamente, o que na sombra vos parece ser a parte mais escura da vela é na realidade a sua parte mais brilhante, e vejam aqui, tremeluzindo para cima, a corrente ascendente de ar quente, tal como Hooker representou, que transporta a chama, que lhe fornece ar e que arrefece os lados da taça formada pelo material fundido.

Posso ainda dar-vos mais um exemplo de como a chama anda para cima e para baixo de acordo com a corrente.

Tenho aqui uma chama – não é a chama de uma vela, mas não tenho dúvida de que nesta altura posso generalizar o que ocorre com a chama de uma vela a outra chama qualquer. O que eu vou fazer é alterar a corrente ascendente, que faz subir a chama, para uma corrente descendente. Isto pode ser feito facilmente com esta montagem que tenho aqui atrás de mim. A chama, como disse, não é a chama de uma vela, mas é produzida por álcool, por isso não deve fazer muito fumo. Vou também colorir a chama (nota 6) para que possam seguir o que se vai passar, apenas com o álcool seria impossível observar o seu movimento. Acendendo este álcool produzimos uma chama e vemos que, se não houver obstáculos, a chama sobe. De certeza que agora já sabem porque é que a chama sobe em circunstâncias normais: ela é transportada pelas correntes dos gases provenientes da combustão.



*Fig. 4*

Mas agora vamos soprar na chama de cima para baixo, e vemos que a chama também se inverte. Antes de terminarmos estas lições, tenho que vos mostrar uma pequena chaminé em que a chama se dirige para cima e o fumo para baixo, ou a chama para baixo e o seu fumo para cima. Vejam que podemos alterar o rumo da chama em diferentes direcções.

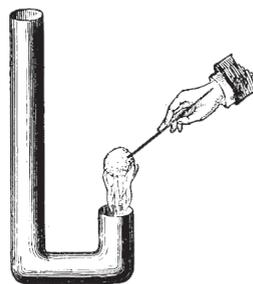


Fig. 5

Há ainda outros pontos a analisar. Muitas destas chamas que aqui vêm variam muito a sua forma pelas correntes de ar que sopram segundo direcções diversas em torno delas, mas, se o desejarmos, podemos produzir chamas com um padrão regular e podemos fotografá-las – de modo a que para nós permaneçam estáticas, se pretendermos analisá-las com profundidade.

Mas este não era o único assunto que eu hoje queria abordar. Se eu tiver uma chama suficientemente grande, ela não se manterá homogénea, a sua forma e estado serão dinâmicos, como se possuíssem vida, o que é maravilhoso. Vou agora usar outro tipo de combustível, mas que continue a representar verdadeiramente a cera ou o sebo de uma vela. Tenho aqui uma grande bola de algodão que me vai servir de pavio. Vou agora mergulhá-la numa bebida alcoólica forte e acendê-la; existe alguma diferença em relação a uma vela normal? A maior diferença está na vivacidade da chama, vejam estas finas línguas de fogo da chama crescente. Inicialmente a chama tem uma disposição semelhante à de uma vela, mas depois aparecem estas línguas que não se observam no caso da chama de uma vela. E porque é que assim é? Vou explicar e, se conseguirem compreender bem o que vos digo agora, estarão preparados para me seguir no que explicarei daqui para a frente. Imagino que muitos de vós já realizaram a experiência que vou agora demonstrar. Estarei certo ao supor que todos vós já jogastes ao *snapdragon*?<sup>42</sup> Não conheço nenhuma ilustração mais feliz da “filosofia” de

<sup>42</sup> O *snapdragon* era um jogo de salão popular no Inverno, especialmente no Natal, em muitos países anglo-saxónicos, durante os séculos XVI a XIX, sobre o qual podem ser encontradas referências em textos de Shakespeare, Dickens, Lewis Carroll, entre outros. Trata-se de um jogo,

uma vela do que o jogo do *snapdragon*. Começemos pelo prato; se vocês querem jogar bem ao *snapdragon*, devem aquecer o prato, devem também aquecer as passas de uva e o *brandy*, que por acaso não tenho aqui. Quando colocam o *brandy*, têm representados a taça e o combustível de uma vela, e não é verdade que as passas de uvas podem servir de pavios?

Coloco agora as passas no prato e pego fogo; vejam as lindas línguas de fogo que se formam. O ar crepita nas bordas do prato formando línguas de fogo. Porquê? Porque, através da força da corrente e da irregularidade da acção da chama, o ar não consegue formar um fluxo contínuo. O ar flui de uma forma tão irregular que, o que de outro modo seria uma única imagem, se parte numa variedade de formas, e cada uma destas pequenas línguas de fogo tem existência independente das outras. Podemos dizer que temos aqui múltiplas velas independentes. Não devem pensar que, só porque vêem todas as línguas ao mesmo tempo, se trata de uma única chama com essa forma particular. Uma chama com esta forma seria impossível. Nem sequer a chama que vocês vêem emergir da bola de algodão tem a forma que parece ter. Na verdade, é composta por uma multiplicidade de diferentes formas, umas sucedendo às outras, tão rapidamente que o olho só é capaz de reconhecê-las como um todo. Há uns tempos eu analisei uma destas chamas e este diagrama mostra-vos as diferentes partes por que é composta. Não ocorrem todas ao mesmo tempo, mas, porque se sucedem com grande rapidez, nós percebemos-las como se coexistissem. Infelizmente não pudemos ir muito longe com o jogo do *snapdragon*, mas não devo de maneira nenhuma ultrapassar o tempo desta lição. Tenho que aprender, numa próxima lição, a cingir-me ao que é essencial e não usar tanto do vosso tempo com divagações como as de hoje.

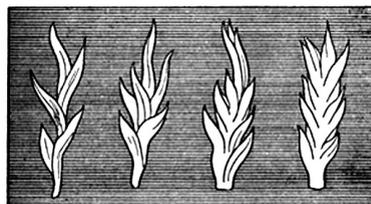


Fig. 6

---

cuja realização poderá ser considerada impensável pelos padrões actuais, no qual as crianças participantes retiravam passas de uva ou de ameixa em chamas de um prato com *brandy* a arder e apagavam a chama na boca, rapidamente para não se queimarem, comendo as passas em seguida. Cf. [http://en.wikipedia.org/wiki/Snap-dragon\\_\(game\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Snap-dragon_(game)). (NT)

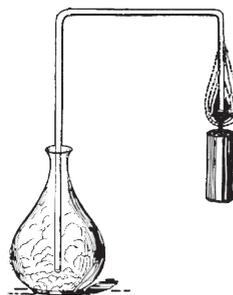
(Página deixada propositadamente em branco)

## LIÇÃO 2

Uma vela: o brilho da chama – o ar necessário para a combustão – produção de água

No nosso último encontro concentrámo-nos na parte fluida da vela e no modo como esse fluido sobe até ao local da combustão. Vejam que, quando temos uma vela a arder suavemente numa atmosfera equilibrada, a sua chama terá uma forma semelhante à que foi mostrada no diagrama, parecendo muito uniforme, mas com características muito interessantes. E agora peço a vossa atenção para a forma como nos vamos deter numa parte particular da chama, de modo a descobriremos o que aí acontece, como e onde acontece, e, no final, para onde vai toda a vela; porque, vocês sabem muito bem, uma vela, quando queimada, acaba por desaparecer; e se for queimada da forma correcta, nem um traço de sujidade deve restar no candelabro, o que é muito curioso. De modo a podermos observar esta vela com cuidado, imaginei este aparato, e já vão ver o que fazer com ele. Aqui temos uma vela e vou colocar este tubo de vidro no meio da chama – até chegar ao local que o velho Hooker representou a negro no seu diagrama, e que vocês poderão sempre notar se se aproximarem cuidadosamente sem soprar na vela. Vamos então observar em primeiro lugar a parte negra.

Agora pego neste tubo curvo de vidro e introduzo uma das extremidades nesta parte da chama, e vocês podem



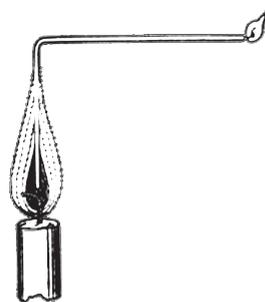
*Fig. 7*

observar que qualquer coisa vinda da chama sai pela outra extremidade; se colocar ali um frasco, vão ver que qualquer coisa vinda da parte interna da chama é drenada, passa pelo tubo e entra gradualmente no frasco e que, dentro do frasco, se comporta de uma forma muito diferente do que quando deixada ao ar livre. Não só se escapa pela extremidade do tubo como cai no fundo do frasco como se se tratasse de uma substância pesada, o que na realidade é. Vemos que se trata da cera da vela transformada num fluido de vapor – não num gás. (Têm que aprender a distinguir gás de vapor: um gás permanece sempre gás, enquanto que vapor é algo que pode condensar.) Se vocês soprarem uma vela sentirão um cheiro muito desagradável proveniente da condensação deste vapor. Este é muito diferente do que o que temos no exterior da vela; e de modo a que se torne mais claro para vós, vou produzir fogo com uma grande quantidade deste vapor, do qual temos apenas uma pequena porção na vela. Para que se compreenda bem, agiremos como filósofos, aumentando a escala de um fenómeno, se tal for necessário para podermos observar cada uma das suas partes. E agora o Sr. Anderson vai dar-me uma pequena fonte de calor e eu vou mostrar-vos em que consiste este vapor. Tenho aqui cera num frasco de vidro e vou aquecê-la, tal como estão quentes a chama de uma vela e a matéria em torno do pavio. [O conferencista coloca cera num frasco de vidro e aquece-a com uma lamparina.] Diria que já está suficientemente quente. Observem que a cera derreteu e que há formação de um pequeno fumo. Rapidamente veremos subir o vapor. Continuando a aquecer, obtemos mais vapor, de modo a poder retirá-lo do frasco, recolhê-lo neste recipiente e aproximar-lhe fogo. Trata-se exactamente do mesmo vapor que temos no meio da vela e, para que vocês tenham a certeza de que assim é, vamos analisar um pouco do vapor libertado pela vela real [retira o frasco que recolhia o vapor da vela e põe lá dentro um pavio incandescente] – vejam como arde. Este é o vapor do interior da vela, produzido pelo seu próprio calor, e é uma das primeiras coisas que vocês têm que considerar quando analisarem o que acontece à cera no decorrer da sua combustão. Vou colocar outro tubo, de forma cuidadosa, sobre a vela e não sei se vamos conseguir, agindo cuidadosamente, transportar o vapor ao longo do tubo até à outra extremidade

onde o vamos acender, obtendo a chama da vela a uma distância razoável da própria vela. Ora vejam. Não é uma bela experiência?

Falamos de canalizar um gás – porquê, quando podemos na realidade canalizar uma vela! E vocês podem ver que existem dois fenómenos distintos, um que é a *produção* de vapor, e outro que é a *combustão do vapor*, e que ocorrem em locais distintos da vela.

Não obtenho vapor a partir da parte da vela que já ardeu. Se eu levantar



*Fig. 8*

o tubo (ver Figura 7) até atingir a parte superior da chama e logo que o vapor desaparece, a substância que sai da vela já não é combustível: porque já está queimada. Queimada como? Porquê queimada? Porque no meio da chama, onde se encontra o pavio, encontra-se também o vapor combustível; em redor da chama existe o ar necessário à combustão; entre esses dois locais ocorre intensa actividade química, o ar e o combustível a reagirem um com o outro, e, à medida que obtemos luz, o vapor é destruído. Se vocês examinarem onde se encontra o calor da vela, vão verificar como é curiosa a sua distribuição. Suponham que eu pego nesta vela e coloco uma folha de papel por cima da sua chama; onde se encontra a porção quente da chama? Conseguem ver que não é na sua parte mais interna? Está neste anel, exactamente onde eu vos disse que ocorria a reacção química; e mesmo com a minha maneira desajeitada de executar a experiência, se eu não perturbar muito a chama, continuaremos a observar este anel. Esta é uma experiência interessante e que vocês podem fazer em casa. Peguem numa tira de papel, mantenham a sala livre de correntes de ar e coloquem a folha de papel através do meio da chama (eu não devo falar enquanto realizo a experiência); verão que o papel vai queimar em dois sítios e muito pouco ou nada no meio; e, quando tiverem feito esta experiência uma ou duas vezes, de modo a realizarem-na na perfeição, vocês ficarão muito entusiasmados por saberem onde está o calor e por verificarem que se encontra no sítio exacto onde o ar e o combustível se misturam.

Isto é muito importante para podermos prosseguir com este assunto. O ar é absolutamente necessário à combustão; e mais, vocês deverão perceber que é necessário *ar fresco*, pois de outra forma estaríamos a ser imperfeitos no nosso raciocínio e nas nossas experiências. Tenho aqui um frasco de ar e vou colocá-lo por cima da vela; de início a vela vai continuar a arder bem, demonstrando que o que eu vos disse é verdade, mas rapidamente vai ocorrer uma mudança. Vejam como a chama vai diminuindo, primeiro enfraquecendo e depois extinguindo-se. E porque é que a chama se extingue? Não é porque precise de ar, porque o frasco tem tanto ar agora como no princípio, mas porque precisa de ar fresco. O frasco está cheio de ar, parcialmente intacto, parcialmente alterado, mas não contém uma quantidade suficiente de ar fresco para permitir a combustão da vela. Estes são os pontos principais que nós, como jovens químicos, temos que reter e, se olharmos mais cuidadosamente para estes fenómenos, vamos poder encontrar certos passos de raciocínio extremamente interessantes. Por exemplo, temos aqui uma lâmpada de óleo que vos mostrei anteriormente, uma excelente lâmpada para as nossas experiências, uma velha lâmpada de Argand.<sup>43</sup> Vamos fazer com que se comporte como uma vela [obstruindo a passagem de ar no centro da chama]; temos aqui o algodão, e o óleo a subir através dele, e a chama cónica. Está a queimar de forma ineficaz porque lhe estamos a restringir o acesso ao ar. Não pode entrar mais ar vindo de fora porque o pavio é grosso, mas, e porque Argand concebeu tão bem esta lâmpada, se eu abrir uma passagem no meio da chama e deixar que o ar chegue lá, hão-de ver que bela chama obteremos. Se eu retirar o ar, vejam quanto fumo se forma; porque será? Temos agora uma série de problemas interessantes para estudar. Temos o caso da combustão

---

<sup>43</sup> A lâmpada de Argand, patenteada em 1780, é uma espécie de candeeiro com uma chaminé cilíndrica de vidro no qual um pavio, colocado entre dois tubos ociosos, era alimentado com óleo combustível por gravidade de um depósito ligeiramente mais elevado, ao mesmo tempo que o ar entrava pela parte de baixo entre os tubos e a chaminé. A sua luz era muito brilhante, tendo sido muito utilizada em faróis, por exemplo. No final da década de 1850, com a descoberta do querosene, surgiram os candeeiros a petróleo que, embora produzissem bastante fumo, eram mais práticos e seguros. Uma visão geral dos meios de iluminação antigos e mais recentes pode ser encontrada na obra *História da luz e das cores* (2.º vol.) de Luis Miguel Bernardo, Editora da Universidade do Porto, 2007, pp. 133-198. (NT)

da vela; o caso da vela que se apaga por falta de ar fresco; e temos agora esta combustão ineficiente na lâmpada; isto é tão interessante para nós que quero que estudem tão bem este fenómeno como o da vela a queimar nas melhores condições. Vou agora produzir uma chama muito grande porque precisamos que o efeito seja bem visível. Temos aqui um pavio grande [uma bola de algodão embebida em terebintina.] No fundo, todas estas coisas se comportam como velas. Tendo um grande pavio, vamos precisar de mais ar para que a combustão seja perfeita. Observem agora esta substância negra que se dirige para a atmosfera num fluxo regular. Eu fiz isto de maneira a eliminar a parte queimada de forma imperfeita, para não vos aborrecer com ela. Vejam a fuligem que sai da chama; vejam como resulta de uma combustão incompleta, porque não há ar suficiente. O que é que está a acontecer? Algumas das condições necessárias à combustão de uma vela estão ausentes e, de acordo com isso, obtemos maus resultados, mas, por outro lado, vimos o que acontece quando uma vela arde numa atmosfera pura e apropriada. Quando vos mostrei a carbonização provocada pelo anel da chama num dos lados do papel, também deveria ter-vos mostrado, vendo as coisas por outro lado, que uma vela a arder produz a mesma espécie de fuligem: carbono, ou seja, carvão.

Mas, antes de observarmos isso, deixem-me explicar-vos, porque nos vai ser útil esta explicação, que, apesar de eu ter uma vela e vos ter mostrado como funciona a sua combustão, formando-se uma chama, temos que verificar se uma combustão se processa sempre da mesma forma ou se existem processos de combustão diversos; vamos ver em breve que há e que são muito mais importantes para nós. Eu penso que, sendo a minha audiência constituída por jovens enérgicos, devo mostrar resultados que sejam fortemente contrastantes. Temos aqui um pouco de pólvora. Sabem que a pólvora arde com chama – sim, podemos chamar-lhe chama. A pólvora contém carvão e outros materiais que, em conjunto, fazem com que arda produzindo uma chama. E temos aqui ferro pulverizado ou limalha de ferro. Proponho que queimemos estas duas substâncias em conjunto. Tenho aqui um pequeno almofariz onde os vou misturar. (Antes de continuar, quero dizer-vos que espero que nenhum de vós vá repetir esta experiência por graça e causar algum acidente. Estas coisas têm que ser usadas com cuidado e, se assim o

fizerem, tudo correrá bem, caso contrário poderão provocar graves danos.) Bem, temos aqui um pouco de pólvora que vou colocar no fundo deste almofariz de madeira e misturar com a limalha de ferro, com o objectivo de fazer a pólvora arder e pegar fogo à limalha de ferro e queimá-la ao ar, para que observem a diferença entre substâncias que ardem com chama e que ardem sem chama. Eis a mistura; quando eu lhe pegar fogo, vocês devem observar a combustão e verificar que ocorrem aqui dois tipos de combustão. Vão ver a pólvora a arder com chama e a limalha a ser expelida. Vão ver a limalha a arder, mas sem produzir chama. Cada substância arderá separadamente [o conferencista acende agora a mistura]: a pólvora a arder produzindo uma chama e a limalha de ferro que arde sem chama; cada uma delas a sofrer uma combustão diferente. Observámos dois comportamentos diferentes e é destas diferenças de comportamento que depende a beleza e a utilidade de uma chama que nós utilizamos para nos iluminar. Quando utilizamos óleo ou gás ou uma vela para a nossa iluminação, a sua eficácia depende destes diferentes tipos de combustão.

Há variações tão curiosas nos tipos de combustão que é necessária alguma inteligência para as podermos distinguir umas das outras. Por exemplo, temos aqui um pó muito combustível constituído, como vêem, por partículas minúsculas bem separadas. Chama-se *licopódio* (nota 7) e cada uma destas partículas pode produzir vapor, e produzir a sua própria chama; mas, para o vermos arder, temos que imaginar que se trata de uma chama só. Vou agora acender um bocado desta substância e vão ver o efeito. Vemos uma nuvem de chama aparentando que a substância está a arder como um todo, mas este ruído crepitante [referindo-se ao som produzido pela combustão] demonstra que a combustão não é contínua nem regular. Esta é a luz que se utiliza nas pantomimas, uma boa imitação. [A experiência foi repetida duas vezes soprando *licopódio* através de um tubo de vidro numa chama produzida por uma lamparina de álcool.] Este é um exemplo de combustão diferente da da limalha, à qual deveremos voltar novamente.

Suponham que eu pego numa vela e examino a parte da chama que parece mais brilhante aos nossos olhos. Porque temos lá estas pequenas partículas pretas, que vocês já viram uma série de vezes a evoluírem a partir da chama, e que vou fazer com que tenham um diferente trajecto. Vou pegar

nesta vela e eliminar a turbulência que é provocada pelas correntes de ar; se eu colocar o tubo de vidro de modo a mergulhá-lo na parte mais luminosa da chama, tal como na nossa primeira experiência, apenas um pouco mais alto, vejam o que sucede. Em lugar de termos o mesmo vapor branco que tínhamos antes, observamos agora um vapor negro. Negro como tinta. É certamente muito diferente do vapor branco e, quando eu coloco um pavio incandescente nesse fumo preto, vemos que ele não arde, mas que se apaga. Bem, estas partículas negras, como já vos disse anteriormente, são apenas o fumo da vela, e isso traz-me à ideia aquele velho passatempo que o *Dean Swift* recomendava aos criados, para seu divertimento: escrever no tecto da sala usando uma vela.<sup>44</sup> Mas o que é esta substância preta? Será o mesmo carbono que existe na vela? Como é que sai da vela? Evidentemente existia na vela, se não não o veríamos agora aqui. E agora quero que me sigam nesta explicação. Vocês dificilmente pensariam que aquelas substâncias que voam em torno de Londres, fuligem e nuvens de carvão, são a beleza e a vida de uma chama, que arderam nela como a limalha de ferro ardeu aqui. Temos aqui um pedaço de tela de arame, que não permite que a chama progrida através dela, e penso que vocês verão imediatamente que, se eu a baixar até tocar a parte mais brilhante da chama, esta é imediatamente abafada libertando bastante fumo.

Quero que agora me entendam neste ponto: sempre que uma substância arde, tal como a limalha de ferro arde na chama da pólvora, sem assumir o estado gasoso (quer se transforme em líquido ou se mantenha sólida), torna-se extraordinariamente luminosa. Trouxe-vos três ou quatro exemplos, para além da vela, para que vocês entendam que o que tenho para dizer se aplica a todas as substâncias, quer elas ardam ou não: são extraordinariamente brilhantes se mantiverem o estado sólido e é a presença destas partículas sólidas na chama da vela que lhe confere o brilho.

Tenho aqui uma lâmina de platina, uma substância que não se modifica com o calor. Se eu aquecer esta lâmina numa chama, vejam como se torna

---

<sup>44</sup> Faraday refere-se a uma das sugestões de Jonathan Swift no seu texto satírico *Directions to servants* datado de 1731 (edição portuguesa *Conselhos à criadagem*, tradução Nuno Marques, Nova Ática, Lisboa, 2005). (NT)

luminosa. Vou diminuir a intensidade da chama de modo a ter apenas uma pequena luz, e vejam que o calor que forneço a esta lâmina de platina, apesar de muito menor do que aquele que a platina já possui, consegue fazer com que ela emita mais luz. Esta chama contém partículas de carbono, mas vamos usar outra que não tem qualquer carbono. Há um material, uma espécie de combustível, um vapor ou um gás, como lhe queiram chamar, neste recipiente e que não contém quaisquer partículas sólidas. Utilizo-o como exemplo de uma chama que arde sem quaisquer partículas sólidas e, se eu colocar dentro dela esta substância sólida, vejam que calor intenso se produz e como faz o corpo sólido brilhar. Através deste tubo transportamos este gás, a que chamamos hidrogénio, e do qual irão aprender muitas coisas da próxima vez que nos encontrarmos. E aqui temos outra substância designada oxigénio, que permite que este hidrogénio arda e, apesar de produzirmos com a sua mistura uma grande quantidade de calor, muito maior do que a que obteriam com uma vela (nota 8), mais uma vez apenas se vê uma pequena luz. Se, no entanto, eu colocar lá dentro uma substância sólida, produz uma luz intensa. Vou pegar num pouco de cal, uma matéria que não arde nem pode ser vaporizada pelo calor (e como não vaporiza mantém-se sólida e mantém-se quente) e vão ver agora o que acontece ao seu brilho. Tenho aqui um calor mais intenso produzido pelo hidrogénio em contacto com o oxigénio, vejam que produz apenas uma pequeníssima luz, não por causa do calor, mas devida às partículas que permanecem no estado sólido; mas, quando eu seguro este pedaço de cal na chama do hidrogénio enquanto este arde no oxigénio, vejam o brilho que se produz. A gloriosa luz produzida pela cal rivaliza com a luz voltaica<sup>45</sup> e é quase tão intensa como a luz do sol. Tenho aqui um bocado de carbono na forma de carvão, que arde produzindo luz exactamente do mesmo modo que se o tivéssemos como constituinte de uma vela. O calor da chama da vela decompõe o vapor da cera e liberta partículas de carbono, que se elevam, aquecem e

---

<sup>45</sup> A *luz voltaica* é o clarão obtido pela aplicação de um potencial eléctrico muito elevado entre dois eléctrodos de carbono relativamente próximos. A *luz de cal*, que é obtida levando um pedaço de cal a uma elevada temperatura, utilizando a combustão do hidrogénio, foi muito usada em teatros até ao aparecimento da luz eléctrica (Cf. BERNARDO, Luís Miguel - *op. cit.* pp. 144; 151-159). (NT)

brilham e depois entram no ar. Mas as partículas, após a combustão, nunca abandonam a vela na forma de carbono. Elas passam para o ar na forma de uma substância invisível de que falaremos mais tarde.

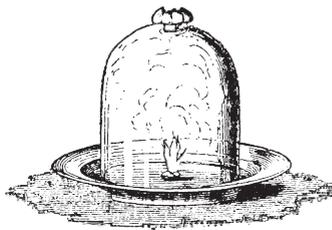
Não é bonito pensar que ocorre um processo como este e que uma coisa suja como o carvão se possa tornar assim incandescente? E chegamos a esta conclusão: todas as chamas brilhantes contêm partículas sólidas, quer enquanto ardem, como na vela, quer imediatamente após arderem, como no caso da pólvora e da limalha de ferro – todas estas coisas que nos oferecem esta bela e gloriosa luz.

Vou mostrar-vos mais alguns exemplos. Tenho aqui um pedaço de fósforo que arde com uma chama brilhante. Então podemos concluir que o fósforo produz durante a combustão, ou após esta, partículas sólidas.

Temos aqui o fósforo inflamado e vou cobri-lo com esta campânula de vidro de modo a mantê-lo no ambiente que produziu. O que é todo este

fumo? Este fumo é constituído por todas as pequenas partículas que são produzidas na combustão do fósforo.

Temos aqui de novo duas substâncias: clorato de potássio e sulfureto de antimônio. Vou apenas misturá-los um pouco e depois poderão arder de várias formas. Vou adicionar-lhes umas gotas de ácido sulfúrico para que



*Fig. 9*

possam observar um exemplo de uma reacção química e eles irão reagir imediatamente [o conferencista acende a mistura usando ácido sulfúrico] (nota 9). Agora, por observação do aspecto das coisas, vocês poderão julgar por vós mesmos se foi produzida matéria sólida na combustão. Eu forneci-vos até agora as ferramentas de raciocínio necessárias para que possam responder sim ou não; o que produziu esta chama brilhante senão as partículas sólidas que se libertaram?

O Sr. Anderson tem na sua fornalha um cadinho muito quente. E eu vou deitar lá dentro umas palhetas de zinco que vão arder com uma chama semelhante à da pólvora. Estou a fazer esta experiência que vocês podem repetir em casa. Agora quero que verifiquem qual será o resultado da com-

bustão do zinco. Aqui têm o zinco a arder – a arder de uma forma tão bela como a de uma vela, poderei dizer. Mas o que é todo este fumo, e o que são estas pequenas nuvens de lã que se aproximam de vós se vocês não se aproximarem delas, e que se tornam sensíveis a vocês na forma da velha “lã filosófica”, como era chamada?<sup>46</sup> Devemos ter deixado, neste cadinho, um pouco desta substância lanosa. Mas eu vou usar um pedaço do mesmo zinco e realizar uma experiência mais próxima da que possa ser feita em casa. E vai acontecer o mesmo que anteriormente. Tenho aqui o bocadinho de zinco, aqui [apontando para um jacto de hidrogénio] a fonte de calor, e vamos ao trabalho e tentar queimar o metal. Ele brilha, como vêem, ocorre uma combustão e a substância branca é o resultado da combustão. E se eu tomar a chama do hidrogénio como representativa da vela, e vos mostrar uma substância como o zinco a arder na chama, vocês vão ver que apenas durante a combustão a substância brilha, enquanto está quente; e se eu colocar esta substância branca em contacto com a chama de hidrogénio, vejam como brilha intensamente, e apenas porque é uma substância sólida. Vou de novo utilizar a chama que utilizei há um bocado, e libertar as partículas de carbono. Tenho aqui *canfeno*,<sup>47</sup> que arde produzindo fumo, mas, se eu recolher estas partículas de fumo neste tubo e as colocar numa chama de hidrogénio, verão que vão arder e tornar-se luminosas, porque foram reaquecidas. Aqui estão. Estas são as partículas de carbono reaquecidas. Facilmente verão estas partículas se colocarem uma folha de papel por trás delas: enquanto se encontram na chama, entram em ignição pelo calor produzido e pela ignição produzem este brilho. Quando as partículas não estão separadas não brilham. A chama do gás de carvão<sup>48</sup> deve o seu brilho

---

<sup>46</sup> A *lã dos filósofos* corresponde ao óxido de zinco que resulta da combustão do zinco, o qual no decurso desta fica com um aspecto branco com algumas semelhanças com tufo de lã ou neve. (NT)

<sup>47</sup> Cf. Nota 40 do Capítulo 1. (NT)

<sup>48</sup> O gás de carvão é obtido pela destilação do carvão em retortas fechadas. Este gás foi usado para iluminação pública e consumo doméstico desde meados do século XIX até ao início do século XX. Referências à sua utilização, que está agora quase esquecida, podem ser encontradas, por exemplo, n’«Os Maias» de Eça de Queirós. A iluminação da sala onde Michael Faraday dá as presentes lições é também de gás de carvão. (NT)

à separação das partículas de carbono, que também estão presentes numa vela. Eu posso, muito rapidamente, rearranjar este aparato. Por exemplo, tenho aqui uma chama brilhante de gás. Supondo que eu adiciono tanto ar à chama de modo a que a combustão termine antes de as partículas sólidas se libertarem; não vamos observar brilho, e é isso que vou fazer agora do seguinte modo: se eu puser por cima do fluxo do gás esta tela metálica, como vocês vêem, e depois acendermos o gás, vai arder sem chama luminosa, devido à existência de muito ar misturado antes da combustão; e se eu retirar a rede metálica, vocês vêem que não arde por baixo (nota 10). Há carbono suficiente no gás, mas, como a atmosfera está em contacto com ele e se mistura antes da combustão, vejam como a chama é pálida e azul.<sup>49</sup> E se eu soprar sobre uma chama brilhante de modo a consumir todo o carbono antes de aquecido até ao ponto em que brilha, vai também formar uma chama azul [o orador ilustra soprando em cima da chama do gás.] A única razão por que a chama se torna menos brilhante quando eu lhe sopro em cima é o carbono encontrar suficiente ar para que arda antes de se libertar da vela. A diferença é apenas devida às partículas sólidas que não se separam da vela antes de o gás arder.

Vocês viram que há alguns produtos que resultam da combustão de uma vela e que desses produtos uma porção pode ser considerada carvão ou fuligem, que o carvão produz de seguida outros produtos quando entra em combustão; e o que nós queremos saber agora é que produtos são esses. Mostrámos-vos que algumas substâncias se libertam e eu quero que vocês agora saibam que quantidade de substância vai para o ar, e para isso vamos realizar uma combustão numa escala um pouco maior. Desta vela sobe ar quente, e duas ou três experiências vão mostrar-vos essa corrente ascendente; mas, para ficarmos a saber qual a quantidade de matéria que sobe, eu vou realizar uma experiência em que vou tentar aprisionar alguns dos produtos da combustão.

---

<sup>49</sup> A cor azul é típica da combustão de hidrocarbonetos e devida à emissão de luz pelos radicais  $C_2$  e  $CH$  – como foi descoberto por Swan em 1856. Faraday conheceria com grande certeza os trabalhos de Swan, assim como os de Bunsen e Kirchhoff datados de 1859-1860 sobre espectroscopia, mas terá, provavelmente, optado por não aumentar a complexidade das lições introduzindo esses temas. (NT)

Por essa razão, tenho aqui o que os rapazes chamam um *balão de ar quente*;<sup>50</sup> vou utilizar este balão apenas para medir o resultado da combustão que aqui estamos a considerar e vou produzir uma chama, da forma mais simples possível, desde que sirva os meus propósitos. Este prato será a “taça”, digamos, da vela; esta aguardente será o nosso combustível; e vou agora colocar uma chaminé em cima disto, porque é melhor para mim agir deste modo do que deixar as coisas ocorrerem sem controlo.



*Fig. 10*

O Sr. Anderson vai agora acender o combustível, e aqui no cimo teremos o resultado da combustão. O que obtemos na saída do tubo é, podemos dizer, o que se obtém na combustão de uma vela, mas não obtemos aqui uma chama luminosa, porque estamos a utilizar uma substância que é pobre em carvão. E agora vou colocar este balão, não em acção, porque não é esse o meu propósito, mas para que verifiquem o que provocam os produtos que saem da vela, como saem aqui da fornalha. [O balão é seguro em cima da vela e imediatamente começa a encher.] Vejam como ele tenta subir, mas não o vamos deixar fazer isso, porque iria de encontro às lâmpadas de gás, o que seria pouco conveniente. [As lâmpadas de gás são apagadas a pedido do orador e em seguida deixa-se o balão subir.] Isto não vos permite ver a grande quantidade de matéria envolvida? Agora vão passar por este tubo [coloca um grande tubo de vidro sobre a vela] todos os produtos da vela, e vão ver que o tubo se vai tornar opaco. Suponhamos que pego noutra vela e a coloco noutra recipiente, e que coloco uma luz no outro lado, só para vos mostrar o que acontece. Vocês vêem que os lados do recipiente ficaram enevoados e que a luz ficou mais fraca. São os produtos da combustão que fazem a chama

---

<sup>50</sup> A expressão *fire-balloon* refere-se aos pequenos balões de ar quente ou de S. João que sobem como “um tiro” devido à rápida diminuição da densidade do ar dentro do balão por este ser aquecido com uma chama na sua base. No Museu da Ciência da Universidade de Coimbra, por exemplo, pode ser experimentado um desses balões. (NT)

enfraquecer ao mesmo tempo que tornam o recipiente opaco. Se forem para casa e pegarem numa colher que esteve ao frio, e se a colocarem por cima de uma vela – não tão perto que fique enfarruscada –, vão ver que a colher escurece tal como aconteceu com o recipiente de vidro. Se tiverem um prato de prata, ou qualquer objecto semelhante, farão a experiência ainda melhor. E agora, de modo a levarmos os nossos pensamentos para o que iremos aprender na próxima lição, deixem-me dizer-vos que é água aquilo que faz o recipiente e a colher ficarem opacos, e no nosso próximo encontro vão ver como é fácil que ela tome a forma líquida.

(Página deixada propositadamente em branco)

### LIÇÃO 3

**Produtos: a água da combustão – a natureza da água – um composto  
– o hidrogénio**

Eu diria que vocês se recordam bem que, quando nos separámos, foi mencionada a palavra “produtos” da vela; quando uma vela arde somos capazes, porque tudo funciona muito bem, de obter vários produtos da sua combustão. Há apenas uma substância que não se obtém quando uma vela arde apropriadamente, que é o carvão ou fumo, e há outras substâncias que sobem a partir da vela e que não têm a aparência de fumo, mas que tomam outra forma e que fazem parte desse fluxo que sai da vela, se torna invisível e se liberta. Há ainda outros produtos a mencionar. Lembrem-se que, do fluido que sai da vela, uma parte pode ser condensada numa colher fria, ou num prato, ou em qualquer outra coisa desde que fria, e que o outro componente não é passível de sofrer condensação?

Vamos primeiro tomar o componente que condensa e examiná-lo; e é estranho dizer, mas esse componente é apenas água, nada mais que água. Na última ocasião eu abordei levemente este assunto, dizendo apenas que, entre outros produtos da combustão da vela, era produzida água, mas hoje quero chamar a vossa atenção para a água que irão examinar cuidadosamente, especialmente em relação a este tema, mas também em relação à sua existência mais geral no nosso planeta.

Assim, tendo previamente planeado uma experiência com o propósito de condensar a água dos produtos da vela, o meu próximo ponto será mostrar-vos essa água; e se calhar o melhor método para o fazer é mostrando-vos a sua acção e depois aplicando o mesmo teste à gota que recolhemos no

fundo deste copo. Tenho aqui uma substância química, descoberta por Sir Humphry Davy, que tem uma acção muito enérgica sobre a água, e que vou usar como teste da presença de água. Se eu retirar um pedacinho disto – chamado *potássio* porque vem da potassa –, se pegar num pedacinho e o colocar no copo de água, vocês vêem que ele revela a presença de água formando uma chama e rodando, ardendo com uma chama violeta. Vou agora retirar a vela que esteve em combustão sob um copo contendo gelo e sal, e vemos uma gota de água, o produto da condensação da vela, na superfície inferior do copo.

Vou mostrar-vos que o potássio reage com esta gota do mesmo modo que com a água do copo e que acabámos de observar. Vejam, aparece a chama, e arde exactamente do mesmo modo. Vou retirar outra gota para cima desta pequena placa de vidro e, quando coloco potássio nela, vêem, pela chama que se forma, que se trata de água. E que esta água foi produzida pela vela. Da mesma forma, se eu puser uma lamparina de álcool por baixo deste frasco, vão observar que ele se torna húmido pelas gotículas de água que se depositam nele, as quais são o resultado da combustão; e vocês verão rapidamente, pela quantidade de gotas que caem sobre este papel, que se produz bastante água na combustão na lamparina. Vou deixar isto aqui, e vocês vão verificar a seguir quanta água recolhemos. Assim, se eu pegar numa lamparina e a cobrir com um qualquer objecto frio, vou obter água, água como a que é produzida na combustão do gás. Aqui neste frasco tenho uma quantidade de água, perfeitamente pura, água destilada, produzida pela combustão numa lamparina de gás, que em nada difere da que se destila a partir de um rio ou oceano, ou de uma nascente; é exactamente igual. A água é uma substância individualizada e imutável. Podemos obtê-la por procedimentos criteriosos, ou tomá-la à parte e obter outras coisas a partir dela; mas a água como água é sempre a mesma, esteja no estado sólido, líquido ou gasoso. Aqui, de novo [segurando outra garrafa] temos água



*Fig. 11*

produzida a partir da combustão de uma lamparina de óleo. Uma *pinta*<sup>51</sup> de óleo, desde que a combustão seja bem realizada, produz muito mais do que uma *pinta* de água. Está aqui a água produzida, numa experiência mais demorada, por uma vela de cera. E podíamos assim continuar, analisando diversos tipos de combustíveis, e verificar que, se a sua combustão produz uma chama, como no caso da vela, então também produz água. Vocês podem fazer estas experiências sozinhos: um atiçador de lareira é uma boa coisa para experimentarem, já que se mantém frio durante bastante tempo em cima da vela, e nele podem obter gotas de água condensada; ou então uma colher ou a concha de servir a sopa, ou ainda outra coisa qualquer, desde que esteja limpa e que conduza bem o calor, para poder manter-se fria e condensar a água.

E agora, para continuarmos com a história desta maravilhosa produção de água a partir da combustão de diferentes materiais, tenho que vos dizer que, embora esta água possa permanecer em diversos estados, e mesmo que vocês estejam familiarizados com todos esses estados, temos que lhes dar mais um pouco de atenção, de modo a que percebam que, apesar de a água ser tão versátil apresentando-se em todos estes estados, é inteiramente e absolutamente a mesma substância, tenha origem na combustão de uma vela ou venha de um rio ou oceano.

Primeiro que tudo, a água a temperaturas muito baixas é gelo. E nós, filósofos – acho que me posso classificar e classificar-vos também assim – falamos de água como água, quer ela esteja no estado sólido, líquido ou gasoso, falamos da entidade química água. A água que é composta por duas substâncias, uma que observámos numa vela e a outra que descobriremos mais tarde. A água que pode ocorrer na forma de gelo, e vocês já

---

<sup>51</sup> No original *pint*, medida de volume do sistema inglês que corresponde a 0,5683 litros. Esta unidade é por vezes traduzida como *quartilbo*, pelo menos desde o dicionário de Anthony Vieira dos finais do século XVIII. No entanto, em Portugal, ao contrário do Brasil, nem o *quartilbo*, nem a unidade menos usada, *pinta*, têm capacidade idêntica à de uma *pint* inglesa. Para além disso, embora existissem padrões régios, até à introdução do sistema métrico na década de 1852-1862, as unidades de medida em Portugal podiam variar de localidade para localidade. Ao longo do texto mantemos as unidades originais mas, embora sigamos a tradição de utilizar nomes semelhantes nas duas línguas para as suas designações, utilizamos o itálico para realçar que não correspondem aos mesmos valores nos dois países. (NT)

tiveram excelentes oportunidades de a observar nesse estado. O gelo que passa a água líquida: transformação de que observámos os efeitos no último *Sabbath*,<sup>52</sup> aquando da catástrofe que se abateu sobre as nossas casas e sobre as casas dos nossos amigos, o gelo que se transforma em água no estado líquido quando a temperatura aumenta; a água a passar ao estado gasoso desde que suficientemente aquecida. A água que temos aqui frente a nós (nota 11) encontra-se no seu estado mais denso, mas, muito embora possa mudar de peso, de estado, de forma, entre outras características, é sempre água e, se a convertemos em gelo, arrefecendo-a, ou em vapor por aquecimento, aumenta de volume, no primeiro caso de forma estranha e poderosa, no outro larga e maravilhosamente. Por exemplo, vou usar agora um cilindro de lata e colocar água dentro; observando a água que lá ponho, podem facilmente estimar que coloquei uma altura de água de mais ou menos duas polegadas. Agora vou converter a água em vapor para vocês verem como varia o volume da água com os seus diferentes estados físicos, água líquida ou vapor.

Vamos agora estudar o caso da água a passar a gelo: vou efectuar o arrefecimento numa mistura de sal e gelo picado (nota 12) e faço assim para que observem a expansão da água. Estas garrafas [segurando uma] são feitas de ferro fundido, muito forte e espesso – penso que terão mais de um terço de polegada de espessura; vamos enchê-las cuidadosamente com água, de modo a excluir todo o ar, e vamos fechá-las com força. Iremos observar que, quando a água gelar nestas garrafas de ferro, elas não vão ser capazes de conter o gelo e a expansão da água as vai quebrar em pequenos fragmentos como estes [apontando para uns pequenos fragmentos], que já fizeram parte de garrafas como estas. Vou agora colocar estas duas garrafas nesta mistura de gelo e sal, para vos mostrar como a água quando gela aumenta de volume, desta forma tão extraordinária.

---

<sup>52</sup> Nos países anglo-saxónicos, *Sabbath* é usado muitas vezes como sinónimo de Dia do Senhor. Michael Faraday pertencia a um grupo religioso denominado *sandemaniano* que dava especial relevo ao Dia do Senhor, que comemoravam ao Domingo. Esta lição teve lugar no dia 1 de Janeiro de 1861, uma terça-feira. (NT)

Entretanto, observem a alteração que teve lugar na água que pusemos sobre o calor: está a abandonar o seu estado líquido. Podem dizer isto por duas ou três razões. Eu cobri a boca deste frasco de vidro, no qual a água está a ferver, com um vidro de relógio. Vêem o que acontece? O vidro treme como se se tratasse de uma válvula porque a humidade que se origina na água a ferver o faz levantar e baixar provocando este barulho. Conseguem ver que o frasco está praticamente cheio de vapor, de outro modo este não tentaria sair. Podem também observar que o frasco contém uma substância muito mais volumosa que a água, porque o enche uma e outra vez e se liberta para o ar sem que haja uma diminuição significativa da água no frasco, o que demonstra o grande aumento de volume da água quando passa a vapor.

Coloquei as nossas garrafas de ferro nesta mistura de congelação e vocês vão observar o que vai acontecer. Não há comunicação entre a água nas garrafas e o gelo que está fora. Mas irá ocorrer transferência de calor de dentro para fora e, se formos bem sucedidos – estamos a realizar estas experiências muito rapidamente –, vocês vão já, já, logo que o frio tenha tomado conta das garrafas e do seu conteúdo, ouvir o estouro de uma ou outra garrafa a partir; quando formos observar as garrafas, vamos ver o seu conteúdo em gelo, está apenas parcialmente coberto pelo ferro incapaz de o conter, porque o gelo é mais volumoso do que a água. Vocês sabem muito bem que o gelo flutua na água; se um rapaz cair através de um buraco na água, tentará encontrar um pedaço de gelo que o faça flutuar e trazer à superfície. Porque é que o gelo flutua? Pensem nisso e filosofem. Porque o gelo tem maior volume do que a água que lhe deu origem, e por isso o gelo é mais leve e a água mais pesada.

Voltando agora à questão da acção do calor sobre a água. Vejam a quantidade de vapor que está a sair deste vaso de estanho. Observem que o vaso deve estar completamente cheio de vapor para que possa libertá-lo em tão grande quantidade. E do mesmo modo que podemos converter a água líquida em vapor quando a aquecemos, podemos trazer o vapor de novo ao estado líquido por arrefecimento. Se tivermos um vidro ou outro qualquer objecto frio e o colocarmos na saída do vapor, vejam como o objecto fica cheio de água: vai condensar enquanto o vidro não aquecer – vai condensar a água que agora se espalha por todo ele e volta a cair no vaso.

Tenho aqui uma outra experiência para vos mostrar a condensação da água do estado de vapor para o estado líquido, da mesma forma que o vapor, um dos produtos da combustão da vela, condensou contra o prato que lhe pusemos por cima e formou água líquida; e para vos demonstrar como essa transformação é real e completa, vou pegar na lata, que está neste momento cheia de vapor, e fechá-la. Vamos ver o que acontece quando obrigamos esta água a voltar ao estado líquido arrefecendo a lata por fora com água fria [o conferencista molhou a lata por fora com água fria e esta imediatamente colapsou]. Vêem o que aconteceu. Se eu tivesse fechado a lata e tivesse continuado a aquecê-la, a lata teria rachado, mas desta forma, quando o vapor passa a líquido, a lata colapsa, porque se produziu vácuo pela condensação do vapor. Eu mostrei-vos todas estas experiências com o propósito de vos demonstrar que em tudo o que observaram não há nada que transforme a água noutra substância qualquer, continua a ser água; por isso, a lata foi obrigada a encolher, do mesmo modo que no outro caso, se continuássemos a aquecê-la, ela teria rebentado.



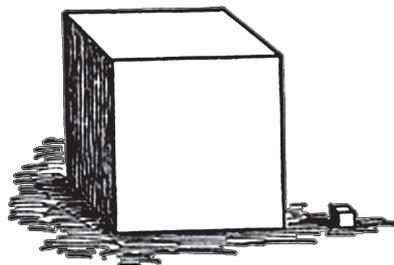
*Fig. 12*

E o que é que vocês pensam que acontece ao volume da água quando assume o estado de vapor? Vêem aqui um cubo [apontando para um cubo com um pé de lado].

E aqui um cubo de uma polegada cúbica, exactamente com a mesma forma do de um pé cúbico, e este volume de água [uma polegada cúbica] é suficiente para se expandir até este volume [um pé cúbico] de vapor;<sup>53</sup> por oposição, a aplicação de frio vai contrair este enorme volume de vapor até esta pequena quantidade de água. [Uma das garrafas de ferro rebenta neste momento.] Ah! Uma das nossas garrafas rebentou e, aqui, vejam este lado todo partido apesar de ter meia polegada de espessura.

<sup>53</sup> Uma polegada são 2,54 centímetros enquanto um pé são 30,5 centímetros; assim, uma polegada cúbica corresponde a 16,4 mililitros e um pé cúbico a 28,4 litros. (NT)

[A outra garrafa explode enviando a mistura de congelação em todas as direcções.] Esta outra garrafa também se partiu; apesar de o ferro ter quase meia polegada de espessura, o gelo desfê-lo em pedaços. Estas modificações ocorrem sempre na água e não necessitam de ser produzidas por meios artificiais; só os utilizamos aqui



*Fig. 13*

porque queremos produzir um pequeno Inverno em torno desta garrafa em vez de um longo e severo Inverno. Mas se vocês forem para o Canadá ou para o Norte, verão que a temperatura exterior faz exactamente a mesma coisa que foi aqui feita com a nossa mistura de congelação.

Voltando à nossa tranquilidade filosófica. No futuro não se devem iludir com quaisquer alterações que se dêem na água. A água é a mesma em toda a parte, venha do oceano ou da chama de uma vela. Então, de onde vem a água que obtemos de uma vela? Vou antecipar-me um pouco e dizer-vos. É evidente que ela vem da vela, mas estaria na vela anteriormente? Não, não estava na vela e também não estava no ar em torno da vela e que foi necessário para a sua combustão. Não estava num sítio nem no outro, resultou da reacção destes dois corpos, a vela e o ar, e isto nós temos que entender, de modo a podermos perceber correctamente a história química da vela quando ela arde em cima da nossa mesa. Como é que vamos lá chegar? Eu diria que há muitas possibilidades, mas queria que vocês chegassem a uma conclusão associando nas vossas mentes tudo o que já vos disse até agora.

Penso que podemos ir por aí. Temos primeiro uma substância que actua na água do modo descrito por Sir Humphry Davy (nota 13), e que eu agora vou recordar-vos fazendo uma experiência com este prato. Temos que ter muito cuidado com este manuseamento, porque já viram que, se eu deixo que uns salpicos de água tenham contacto com esta massa, vai pegar fogo a parte dela e, como está em contacto com o ar, em breve o fogo alastrará a toda ela. Trata-se de um metal, lindo e brilhante, que rapidamente se trans-

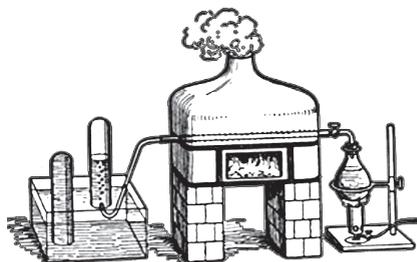
forma em contacto com o ar e que rapidamente se transforma em contacto com a água. Vou colocar um bocadinho na água, e vejam como arde de uma forma tão bela, como uma lamparina flutuante, utilizando a água em vez do ar. Mas se vocês pegarem nuns pedacinhos de ferro e os puserem em água, eles também irão sofrer alterações. Não de um modo tão visível como o potássio, mas modificam-se, ficam enferrujados e agem sobre a água, apesar dessa acção ter uma intensidade diferente da deste lindo metal, o potássio. Eu quero que vocês juntem todas estas ideias na vossa cabeça. Tenho aqui outro metal [zinco] e, se o observarmos do ponto de vista da substância sólida produzida pela sua combustão, teremos a oportunidade de verificar que ele arde; e suponho que, se usar uma pequena lâmina deste zinco e a puser por cima da vela, vocês verão um fenómeno intermédio entre o que ocorre na combustão do potássio na água e a reacção do ferro com a mesma água: vejam que ocorre uma forma de combustão. Ardeu, deixando umas cinzas ou resíduo branco; verificamos assim que este metal age de alguma forma sobre a água.

Aos poucos, aprendemos a observar a actividade destas diferentes substâncias e a fazê-las contar-nos o que queremos saber. E agora, em primeiro lugar, observemos o ferro. É comum a todas as reacções químicas que produzem resultados semelhantes aos que temos observado intensificaram-se pela acção do calor; e, se quisermos examinar minuciosa e cuidadosamente a acção destes materiais uns sobre os outros, temos de referir muitas vezes a participação do calor. Estão já conscientes, creio eu, de que a limalha de ferro queima lindamente no ar, mas estou prestes a mostrar-vos outra experiência do mesmo género, para que compreendam melhor o que eu vou dizer acerca do ferro na sua acção sobre a água. Se eu pegar numa chama e a fizer oca – e vocês sabem porquê, porque quero que o ar entre dentro dela, e por isso a faço oca – e se pegar nuns pedaços de limalha de ferro e os lançar na chama, observem como ardem bem. Esta combustão resulta da acção química que tem lugar quando estas partículas entram em ignição. E continuamos a considerar todos estes efeitos e a verificar o que acontece ao ferro quando entra em contacto com a água. E a história a que assistiremos é tão bonita, tão gradual e regular que eu penso que irá agradar-vos imenso.

Tenho aqui um forno com um tubo a atravessá-lo, como o cano de uma pistola; enchi este cano de pedaços brilhantes de ferro e coloquei-os sobre o fogo de modo a torná-los rubros de tão quentes. Podemos enviar ar através do cano de modo a entrar em contacto com o ferro, ou podemos enviar vapor de água obtido neste pequeno fervedor localizado no extremo do tubo. Esta válvula mantém o vapor de água afastado do cano enquanto quisermos.

Temos aqui água dentro deste recipiente para gelo e eu tingi a água de azul para que possam verificar o que acontece. Vocês já sabem agora muito bem que qualquer vapor de água

que entre em contacto com a água gelada irá condensar e já viram que o vapor não será capaz de manter a sua forma gasosa quando é arrefecido; vocês vêem-no aqui [apontando para o frasco de paredes finas] encolhendo até ocupar um pequeno volume e



*Fig. 14*

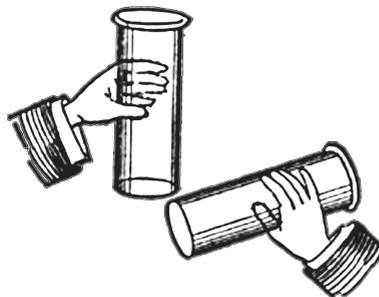
fazendo com que o recipiente que o contém colapse; assim, se eu enviasse vapor de água através deste cano, ele iria condensar se o cano estivesse frio; mas o cano foi aquecido de modo a que eu possa realizar a experiência que quero agora mostrar-vos. Vou começar a libertar o vapor através do cano em pequenas quantidades e julgarão por vocês mesmos, quando o virem sair do outro lado, se ainda continua vapor.

O vapor de água condensa formando água, quando baixamos a temperatura do vapor ele volta ao estado líquido; mas eu diminuí a temperatura do gás que recolhi neste frasco, passando-o através de água depois de ele ter atravessado o cano de ferro e, como vêem, ele não passou ao estado líquido. Vou agora sujeitar o gás a outro teste (seguro o frasco em posição invertida, de outra forma a minha substância fugiria). Se eu agora aproximar um pauzinho incandescente da boca do frasco, ele acender-se-á fazendo um pequeno barulho. Isto diz-nos que o gás que aqui temos não é vapor de água; a água apagaria o fogo; não arde; mas vocês viram que o que eu tinha aqui no frasco ardeu. Poderemos obter a mesma substância a partir

da água produzida pela chama da vela ou de outra fonte qualquer. Quando é obtida por acção do ferro sobre o vapor de água, deixa-o num estado muito parecido ao das palhetas de ferro depois de arderem. O ferro fica mais pesado do que estava anteriormente. Enquanto permanecer no tubo e for aquecido e arrefecido, se não estiver em contacto com a água ou com o ar, o seu peso não se altera; mas, depois de esta corrente de vapor de água passar sobre ele, o ferro torna-se mais pesado do que era antes, tendo retirado algo da água e permitindo que alguma coisa se liberte, que é o que vemos aqui. E agora, como temos aqui outro frasco, vou mostrar-vos algo de mais interessante. Trata-se de um gás combustível; vou pegar neste frasco e pô-lo a arder e mostrar-vos que se trata de um gás combustível; mas, se eu conseguir, quero que observem algo mais. Trata-se também de uma substância extremamente leve. O vapor de água condensa, esta substância aqui eleva-se no ar e não condensa.

Suponham que pego noutro frasco de vidro que apenas contém ar: se eu o examinar com uma vela, verei que não contém nada a não ser ar. Vou agora pegar neste frasco cheio do gás de que vos estou a falar e tratá-lo como se fosse uma substância muito leve; vou virá-lo de pernas para o ar e colocar o outro frasco por cima: o que é que o frasco que continha o gás obtido do vapor de água contém agora? Vão verificar que apenas contém água. Mas vejam! Aqui está a substância combustível [segurando no outro frasco] que eu transferei de um frasco para o outro. Mantém as suas características, condições e independência, e por isso merece mais a nossa atenção do que por se tratar de um dos produtos da combustão de uma vela.

Esta substância, que acabámos de obter a partir da acção do ferro sobre o vapor de água, pode também ser obtida pela acção sobre a água de outras substâncias que já observámos aqui. Se eu pegar num pedaço de potássio e agir correctamente, ele também vai produzir este gás; se em vez de potássio eu usar zinco, verifico, se o examinar cuidadosamente, que a principal

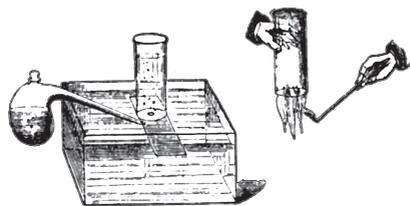


*Fig. 15*

razão pela qual ele não age sobre a água de uma forma contínua tal como os outros metais, é porque, como consequência da sua acção sobre a água, o zinco fica envolto numa espécie de capa protectora. Aprendemos, com a nossa experiência, que, se colocarmos num recipiente apenas água e zinco, nada de visível ocorre, não observamos qualquer resultado. Mas suponhamos que eu removo essa capa – a substância que envolver o zinco –, o que posso fazer utilizando um bocadinho de ácido; logo que assim procedo, verifico que o zinco actua na água exactamente da mesma forma que o ferro, mas à temperatura ambiente. O ácido apenas se combinou com o óxido de zinco que foi produzido. Coloquei ácido no frasco e o efeito foi o mesmo que se eu tivesse aquecido o frasco até à ebulição. Alguma coisa sai do zinco, muito abundantemente, e não é vapor de água. Temos aqui um frasco cheio desse gás e vocês verão, quando eu virar o frasco ao contrário, que tenho aqui exactamente a mesma substância combustível que produzi com o cano de ferro. O mesmo que obtivemos da água, a mesma substância contida na vela.

Vamos tentar estabelecer uma ligação entre estes dois pontos. Isto é hidrogénio – um corpo classificado entre as substâncias a que em química chamamos elementos, porque não podemos extrair mais nada deles.

Uma vela não é um corpo elementar, porque podemos obter carbono dela, podemos obter hidrogénio a



*Fig. 16*

partir dela, ou pelo menos a partir da água que ela produz. E este gás foi denominado hidrogénio porque é o elemento que em associação com um outro elemento produz água<sup>(\*)</sup>. O Sr. Anderson trouxe-nos agora três frascos desse gás e temos algumas experiências para fazer; vou mostrar-vos a melhor maneira de as realizar. Não receio mostrar-vos como se faz, porque quero que vocês realizem estas experiências, desde que as realizem com cautela e atenção, com o consentimento dos vossos familiares.

---

(\*) ὕδωρ "água" e γεννω "eu gero" [Esta nota da edição original aparece mesmo assim, não numerada.] (NT)

À medida que avançamos em química, somos obrigados a lidar com substâncias que podem ser bastante perigosas se não as manejarmos correctamente; os ácidos, calor, combustíveis são coisas que nós usamos e que podem provocar danos se não forem tratados com cautela. O hidrogénio pode ser facilmente obtido a partir de pedaços de zinco e ácido sulfúrico ou muriático.<sup>54</sup> Aqui temos o que antigamente se chamava “vela dos filósofos”. Trata-se de uma pequena garrafa com uma rolha de cortiça atravessada por um tubo. E vou colocar pedacinhos de zinco dentro dela.



*Fig. 17*

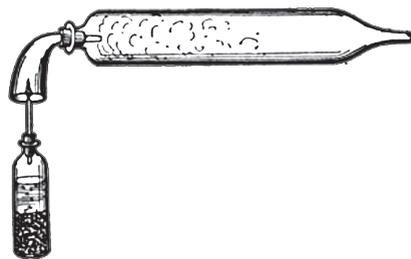
Vamos utilizar esta pequena montagem na nossa próxima demonstração, porque quero mostrar-vos um modo de produzir hidrogénio e de o utilizar em pequenas experiências que até podem realizar em casa se assim vos apetecer.<sup>55</sup> Deixem-me dizer-vos porque estou a ser tão cuidadoso a colocar os pedaços de zinco aqui dentro, não enchendo demasiado a garrafa. Ajo assim porque, como já viram, o gás que vamos produzir é muito combustível e explosivo quando misturado com o ar, e poderá provocar um acidente se aproximarem uma chama da extremidade do tubo que sai da vela, sem que tenham removido primeiro todo o ar que ocupa o espaço acima da água que também se encontra na garrafa. Vou agora colocar ácido sulfúrico. Coloquei menos zinco e mais ácido e água para que a reacção ocorra durante mais tempo. Fui cauteloso na escolha da proporção dos vários reagentes, para que a reacção não ocorra nem muito depressa nem muito devagar. Agora coloco um copo, virado ao contrário, sobre o tubo que sai da garrafa porque, sendo o hidrogénio bastante leve, espero poder retê-lo lá durante uns momentos. E vou agora

<sup>54</sup> Ácido muriático é a designação antiga, mas ainda por vezes usada, do ácido clorídrico. (NT)

<sup>55</sup> Hoje em dia é quase impensável fazer sugestões como esta, envolvendo experiências potencialmente perigosas. Faraday chama, no entanto, a atenção nos parágrafos anteriores para a necessidade de supervisão e acompanhamento na realização da experiência. (NT)

verificar se é mesmo hidrogénio o que tenho dentro do copo, deveremos ter aprisionado algum [aproximando um pavio incandescente.] Sim, é hidrogénio, como puderam verificar. Vou agora aproximar uma pequena chama da saída do tubo. O hidrogénio a arder, a nossa “vela dos filósofos”. Podem dizer que é uma chama fraca, mas produz calor como poucas chamas a que estamos habituados. Vai ardendo de uma forma regular, e vou utilizá-la segundo um esquema que nos vai permitir obter resultados e adquirir informações. Na medida em que a combustão da vela produz água e que este gás sai da água, vamos verificar o que acontece quando temos um processo semelhante ao que ocorre na combustão da vela na atmosfera. Para isso vou colocar a “vela” sob este aparato, para que possa condensar tudo o que seja libertado por ela.

Dentro de poucos minutos, vocês vão observar que o cilindro se enche de humidade e que gotas de água escorrem pelos lados, e que a água obtida desta chama de hidrogénio passaria em todos os testes que efectuámos anteriormente com a água obtida da vela. É uma bela substância o hidrogénio. Tão leve que faz elevar algumas coisas, muito mais leve do que a atmosfera, o que vou agora demonstrar-vos. E sendo vocês tão inteligentes, atrevo-me a dizer que as experiências que vou realizar poderão ser repetidas pelos mais habilidosos entre vós. Tenho aqui o meu gerador de hidrogénio e aqui alguma espuma de sabão. Tenho um tubo de borracha ligado ao gerador de hidrogénio que tem na outra ponta um cachimbo de tabaco. Coloco o cachimbo sob a espuma de sabão e libertam-se bolas de sabão por acção do hidrogénio. Vocês vêem como as bolhas caem quando eu lhes sopro com a minha respiração quente; mas vejam o que lhes acontece quando as sopro com hidrogénio. [O conferencista sopra hidrogénio para as bolhas e estas atingem o tecto do teatro.] Isto mostra-vos como este gás deve ser leve de modo a levar com ele não somente



*Fig. 18*

uma vulgar bola de sabão mas também uma gota de água pendurada. Posso demonstrar-vos a leveza desta substância de uma melhor forma, de facto

podem ser elevadas bolhas muito maiores usando hidrogénio. Antigamente usava-se este gás para encher balões. O Sr. Anderson vai ligar este tubo ao nosso gerador e vamos ter um fluxo de hidrogénio capaz de encher este balão feito de colódio.<sup>56</sup> Não preciso sequer de eliminar todo o ar porque conheço a capacidade deste gás de o transportar. [Enchem-se dois balões de colódio, estes sobem, mas mantém-se um preso por um fio.] Tenho aqui um balão ainda maior, feito de uma fina membrana, que também vou encher e permitir-lhe que suba; verão que os balões irão flutuar até que o gás se liberte de dentro deles.

Quais são então os pesos comparados destas duas substâncias? Tenho aqui uma tabela que vos mostra as proporções do peso de uma substância em relação à outra. Considerei como medidas uma *pinta* e um pé cúbico e coloquei por baixo delas os números respectivos. Uma *pinta* deste hidrogénio pesa três quartos do nosso peso mais pequeno, o *grão*, e um pé quadrado pesa doze partes de *onça*; enquanto que uma *pinta* de água pesa 8.750 *grãos*, e um pé cúbico pesa 1.000 *onças*.<sup>57</sup> Vejam a enorme diferença que existe entre o peso de um pé cúbico de água e um pé cúbico de hidrogénio.

O hidrogénio não origina substâncias sólidas como produtos da sua combustão, nem durante nem a seguir a esta; quando arde produz água somente; se colocarmos um vidro frio por cima da chama, vai ficar húmido, e teremos água produzida imediatamente e em quantidade apreciável; e nada mais é produzido pela sua combustão a não ser a mesma água que vocês viram ser produzida pela vela. É importante que se lembrem sempre que o hidrogénio é a única substância na natureza que produz água como o único produto da sua combustão.

---

<sup>56</sup> O colódio é uma solução de nitrocelulose num solvente orgânico, descoberta em 1846, a qual, após a evaporação do solvente, forma um filme polimérico transparente que pode ser flexível e ainda hoje é usado para aplicação tópica de medicamentos. Nesta época foi muito usado em fotografia e também para fazer balões de hidrogénio, o que requeria algum engenho. De notar que a primeira utilização de balões de látex foi feita por Michael Faraday em 1824, sendo provavelmente deste material o balão de fina membrana referido. (NT)

<sup>57</sup> Uma pinta são 0,5683 litros, um pé cúbico 28,3 litros, um grão 64,8 miligramas e uma onça 23,6 gramas. Assim temos que 0,5683 litros de hidrogénio pesam 48,6 miligramas ou que 28,3 litros pesam 23,6 gramas; enquanto que 0,5863 litros de água pesam 567 gramas, ou que 28,3 litros de água pesam 28,4 quilogramas. Cf. nota 51 sobre a tradução dos nomes das unidades. (NT)

Agora devemos prosseguir para encontrar outras provas adicionais do carácter geral da água e da sua composição e, com esse propósito, vou reter-vos aqui um pouco mais, para que no nosso próximo encontro vocês estejam melhor preparados para esse assunto. É possível fazer com que o zinco que vocês viram reagir com a água, com o auxílio de um ácido, liberte energia no local onde essa energia nos vai ser necessária.

Tenho aqui uma pilha voltaica<sup>58</sup> e vou mostrar-vos no fim desta lição as suas propriedades e a energia que produz, propriedades com as quais iremos lidar no nosso próximo encontro. Estou a segurar as extremidades dos fios que transportam a energia nela produzida e que farei actuar na água.

Já observámos o poder de combustão do potássio e do zinco, ou das palhetas de ferro, mas nenhum demonstrou tanta energia como este [o conferencista aqui pôs em contacto os dois terminais da bateria, produzindo uma faísca]. Esta faísca é, na realidade, produzida por um poder de combustão quarenta vezes superior ao do zinco; é um poder que eu posso reter nas minhas mãos a meu bel-prazer, embora se fizer algo de errado, me possa destruir a mim próprio num instante, pela intensidade que detém, e o poder que aqui vêem enquanto contam até cinco [o conferencista coloca de novo os pólos em contacto exibindo a luz eléctrica] é equivalente ao poder de muitas trovoadas, tão grande é a sua força (nota 14). E vão poder ver quão intensa é esta energia: vou retirar as pontas dos arames que transportam o poder da bateria e com eles vou queimar este ferro. Agora temos um poder químico, o qual, quando nos encontrarmos de novo, hei-de aplicar à água e verificar que resultados são produzidos.

---

<sup>58</sup> Uma pilha voltaica é uma pilha obtida pela associação em série (normalmente empilhadas) de células galvânicas, geralmente de cobre e zinco, que podem gerar voltagens bastante elevadas. (NT)

(Página deixada propositadamente em branco)

## LIÇÃO 4

### O hidrogénio numa vela – arde formando água – a outra parte da água – oxigénio

Vejo que ainda não estão cansados da vela, porque tenho a certeza de que, se assim fosse, não estariam tão interessados neste tema como estão. Observámos que quando a nossa vela arde produz água, exactamente igual à água que temos em todo o lado; e por observação cuidadosa dessa água verificámos que continha esse corpo curioso, hidrogénio – essa substância tão leve e que temos aqui neste frasco. Verificámos depois os poderes de combustão deste hidrogénio produzindo água. E creio que vos mostrei um sistema que, muito resumidamente, vos expliquei tratar-se de um gerador de força química, ou de energia, que é capaz de fornecer essa energia através dos seus cabos, e eu disse-vos que iria utilizar essa energia para separar a água nos seus componentes, para verificarmos se existe algo mais para além do hidrogénio; porque, se se recordam, quando passámos a água pelo tubo de ferro, obtivemos, sem dúvida, um peso igual ao da água que lá colocámos na forma de vapor, apesar de se ter formado uma grande quantidade de gás. Vamos então investigar qual é a outra substância presente. Agora que vocês já conhecem as características deste instrumento e a sua forma de funcionar, vamos realizar uma ou duas experiências. Vamos juntar duas substâncias, que conhecemos, e ver o que é que este aparelho faz com elas. Temos aqui algum cobre (observem as modificações que o cobre pode sofrer) e temos aqui ácido nítrico, e vão ver que o ácido, que é um agente químico muito potente, vai reagir muito fortemente quando eu o adicionar ao cobre. Vejam como se liberta um lindo vapor vermelho, mas, como não nos interessa

o vapor, o Sr. Anderson vai colocá-lo sob a chaminé para que possamos observar a experiência sem sermos incomodados pelo vapor. O cobre que eu coloquei no frasco vai-se dissolver: o ácido e a água vão originar um lindo líquido azul contendo cobre e outras coisas; proponho agora que vejam como é que esta bateria voltaica lida com isto; e ao mesmo tempo, realizaremos uma outra experiência em que poderão observar o seu poder. É uma substância que para nós é como água, no sentido em que contém “corpos” que desconhecemos, tal como a água contém uma substância que ainda não sabemos o que é. Então, temos esta solução de sal (nota 15). Vou cobrir a solução de sal com papel, agitar, aplicar à solução a bateria e observar o que acontece. Acontecem três ou quatro coisas importantes e das quais vamos tirar partido. Vou colocar este papel húmido sobre uma folha fina de estanho, o que é muito útil para mantermos tudo limpo e para ser mais eficaz a aplicação da energia da bateria; como vêem, a solução não é afectada por ser colocada por cima de um papel ou de uma fina folha metálica, nem por qualquer outra coisa que eu tenha posto em contacto com ela, e por isso procederemos como melhor nos convier no que respeita a este instrumento. Mas primeiro vamos verificar se o instrumento está a funcionar correctamente. Estão aqui os cabos. Vamos ver se estão no mesmo estado em que os deixámos anteriormente. Veremos isso rapidamente. Tal como na última ocasião em que os utilizámos, se juntarmos os cabos não temos electricidade, porque os seus transportadores – o que designamos por eléctrodos, o caminho ou passagem para a electricidade – estão bloqueados, mas agora o Sr. Anderson enviou-me um telegrama [referindo-se a um repentino clarão na extremidade dos cabos] dizendo-me que está tudo pronto. Antes de começar, vou pedir ao Sr. Anderson que quebre de novo o contacto na bateria que se encontra por detrás de mim; vamos colocar um cabo de platina a ligar os dois pólos e, se eu considerar que posso pôr incandescente uma boa parte da platina estaremos em condições de segurança para realizar a nossa experiência. Vamos agora observar a energia. [A conexão foi estabelecida e o fio de platina, ficou rubro.] Existe potência percorrendo lindamente o cabo metálico, que eu escolhi delgado propositalmente para vos mostrar estas poderosas forças; e agora, possuindo a potência necessária, vamos continuar a examinar a água.

Tenho aqui dois pedaços de platina e, se eu os depositar nesta folha de papel molhado [a folha de papel colocada em cima da placa de estanho], não acontece nada; e se os levantar tudo se mantém como antes. Mas agora vejam o que acontece: se eu colocar estes dois pólos alternadamente em cima dos pedaços de platina, nada acontece, ambos se mantêm sem acção; mas, se eu os colocar em contacto com a platina simultaneamente, vejam o que acontece [uma mancha castanha aparece por baixo de cada pólo da bateria.] Observem agora o que aconteceu e como eu consegui fazer aparecer alguma coisa castanha sobre o branco. E não tenho dúvidas de que, se realizasse a experiência de outra forma, colocando um dos pólos na folha de estanho que está debaixo do papel, conseguiria uma reacção igualmente bela sobre o papel: vamos ver se eu consigo escrever um telegrama com essa substância, se tal vos agradar [aqui o conferencista escreve a palavra “jovens” no papel usando um dos terminais.] Vejam que coisas fantásticas podemos obter.

Com esta solução conseguimos desenhar, algo que desconhecíamos antes. Vamos agora retirar este frasco das mãos do Sr. Anderson e verificar o que podemos obter a partir dele. Isto, vocês já conhecem, é um líquido que foi preparado enquanto realizávamos as últimas experiências, a partir de cobre e ácido nítrico; apesar de eu ter que fazer isto muito rapidamente e com menos cuidado, prefiro fazê-lo perante vós a ter esta experiência preparada previamente.

Então vejam o que acontece. Estas duas placas de platina são os extremos (ou vou fazer com que o sejam já de seguida) desta montagem, e eu vou colocá-las em contacto com esta solução, tal como fizemos há momentos com o papel. Não interessa se a solução está num papel ou no recipiente, desde que coloquemos nela os extremos do sistema. Se eu colocar as duas barras de platina sem mais nada na solução, elas saem dela tão limpas e brancas como entraram [inserindo as placas no líquido sem que estejam ligadas à bateria]; mas, quando as ligamos à bateria e as mergulhamos [as placas de platina foram ligadas à bateria e mergulhadas no líquido], vejam [exibindo uma das barras de platina], parece feita de cobre, é como uma placa de cobre; enquanto esta [exibindo a outra barra de platina] saiu da solução bastante limpa. Se eu retirar esta peça coberta de cobre e trocar as placas de pólo, o cobre abandona a placa do lado direito e deposita-se na do lado esquerdo;

a placa que antes estava coberta de cobre aparece agora limpa e a placa que estava limpa ficou revestida de cobre; e vocês viram que o cobre que se encontrava na solução foi dela retirado com a utilização deste instrumento.

Pondo de lado esta solução, vamos ver qual é o efeito deste instrumento sobre a água. Tenho aqui duas pequenas placas de platina com as quais vou fazer os terminais da bateria e isto (C) é um pequeno recipiente construído de modo a que eu possa utilizar as suas partes em separado. Neste dois copos (A e B) vou colocar mercúrio que irá estar em contacto com as extremidades dos fios ligados às barras de platina. No vaso (C) vou colocar água contendo algum ácido (o ácido tem apenas a função de facilitar a reacção que vai ocorrer, mas não se modifica) e, ligado ao topo do vaso, está um tubo de vidro dobrado (D) que vos recordará o cachimbo que estava ligado ao canhão de ferro (ver capítulo 3) na nossa experiência com o forno, e que passa por baixo do frasco (F). Pronto, já preparei toda esta montagem e vou prosseguir tentando alterar a água de alguma forma.

Na outra experiência, eu fiz passar a água através de um tubo metálico extremamente quente, agora vou fazer passar a electricidade através da solução contida neste recipiente. Talvez a água entre em ebulição; mas, se entrar em ebulição, vai produzir vapor; e vocês sabem que quando o vapor fica frio condensa, e portanto poderão verificar se a água entrou ou não em ebulição. Mas talvez a água não entre em ebulição e vá ocorrer outro efeito. Temos que realizar a experiência e verificar. Tenho aqui um dos cabos que colocarei deste lado (A) e daquele tenho outro cabo (B) e num instante irão ocorrer alterações. Parece que está a haver ebulição, mas estará mesmo? Vamos ver se a substância que se liberta é vapor ou não. Terão em breve oportunidade de observar que o frasco (F) se enche de vapor, se isto que sai da água for vapor. Mas será vapor? Penso que não; porque, vejam, permanece sem sofrer qualquer alteração. Aqui está sobre a água e por isso não pode ser vapor, deve ser um outro tipo de gás. O que será? Será hidrogénio? Ou qualquer outra substância? [O conferencista faz

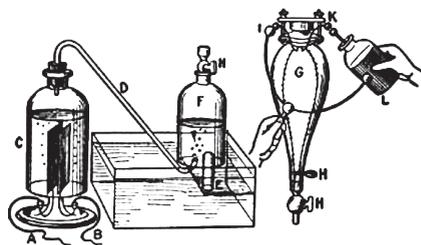


Fig. 19

entrar em ignição uma porção do gás recolhido que inicia a combustão com uma explosão.] É qualquer coisa de combustível, mas não um combustível do género do hidrogénio. O hidrogénio não provocaria este som, mas a cor da luz produzida pela combustão desta substância é semelhante à produzida pelo hidrogénio; no entanto, entraria em combustão mesmo na ausência de ar. Foi por essa razão que eu escolhi uma montagem diferente, com o propósito de vos fazer ver que esta experiência depende de muitas condições. Em vez de um vaso aberto, utilizarei um fechado (a nossa bateria funciona tão bem que provocámos a ebulição do mercúrio e agimos de forma correcta, não de uma forma errada, mas absolutamente correcta) e vou mostrar-vos que este gás, seja ele qual for, não necessita, como a vela, de ar para que se dê a sua combustão.

E vamos realizar esta experiência do seguinte modo: tenho aqui uma ampola de vidro (G) que está acomodada entre duas placas de platina (I e K), através das quais eu posso aplicar corrente eléctrica; podemos ligar esta ampola a uma bomba de água de modo a extrair todo o ar; e quando todo o ar tiver saído, ligamos a ampola ao frasco (F) e deixamos entrar o gás resultante da passagem da corrente eléctrica na água, que nós agora produzimos substituindo a água por esta nova substância – posso mesmo afirmar que transformámos a água nesta substância. Não mudámos só o seu estado físico, mas transformámos a água neste outro gás, toda a água que aqui estava foi decomposta nesta experiência. Fecho a ampola (G) aqui (H) e, quando ligo todos os tubos e abro as torneiras (H H H), se repararem no nível da água (em F), verificarão que o gás subiu. Vou agora fechar as torneiras porque já recolhi tanto gás quanto poderia recolher e já o transferi em segurança; e vou aplicar-lhe uma faísca eléctrica que produzi nesta garrafa de Leyden (L).<sup>59</sup> Vejam que a ampola que era límpida e transparente se encontra agora turva. Não observaremos nenhum som, já que se trata de um recipiente suficientemente robusto para reter a explosão. [Uma faísca atravessa o recipiente quando é provocada a ignição da mistura.] Viram

---

<sup>59</sup> Garrafa de Leyden (ou de Leiden) é um instrumento físico que *armazena* electricidade estática entre dois eléctrodos situados dentro e fora de uma garrafa. Foi inventada de forma independente por Ewald Georg von Kleist em 1744 e por Pieter van Musschenbroek de Leyden em 1745-1746. (NT)

esta luz brilhante? Se eu ligar de novo o frasco ao recipiente onde tenho a água e abrir estas torneiras, observarão que há de novo libertação de gás. [As torneiras são de novo abertas.] Estes gases [referindo-se aos gases recolhidos no frasco, em que a corrente eléctrica provocou a ignição] desapareceram, como podem verificar, o espaço que ocupavam está vago e pode ser ocupado por gases libertados de fresco. Formou-se água a partir deles; se repetirmos a operação [repetindo a última experiência], vou ter de novo um espaço vazio, o que podemos constatar pela subida de água no frasco. Tenho sempre um recipiente vazio após cada explosão, porque o vapor ou gás no qual esta água se transformou, por acção da bateria, explodiu em seguida por influência da faísca e transformou-se de novo em água; e uma e outra vez vocês poderiam observar neste vaso de cima algumas gotas de água descendo pelos lados e depositando-se no fundo dele.

Obtivemos água mesmo sem estarmos na presença da atmosfera. A vela teve a ajuda da atmosfera na produção de água, mas neste caso foi gerada água independentemente da presença de ar. Então, a água deve conter nela a substância que a vela retira do ar e que combinada com o hidrogénio produz água.

Até agora observaram que este terminal da bateria contém o cobre que extraiu do vaso com a solução azul. Isso foi realizado por este cabo, e podemos certamente afirmar que, se a bateria tem este poder sobre uma solução metálica que nós preparámos, então será capaz de separar os componentes da água e de os colocar aqui e acolá.

Suponham que eu pego nos pólos da bateria – os seus terminais metálicos – e verifico o que acontece com a água nesta experiência (fig. 20). Coloco um dos terminais aqui (A) e o outro ali (B) e tenho pequenas campânulas furadas que posso colocar sobre cada um dos pólos, de tal forma que todos os gases que se libertarem em cada um dos extremos da bateria serão aprisionados separadamente; já sabemos que a água neste caso não se vaporiza, mas se transforma em gás.

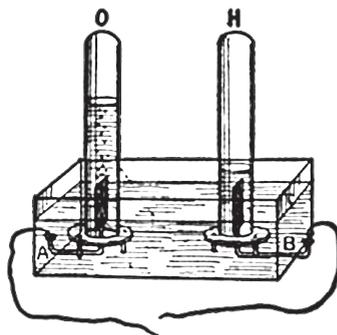


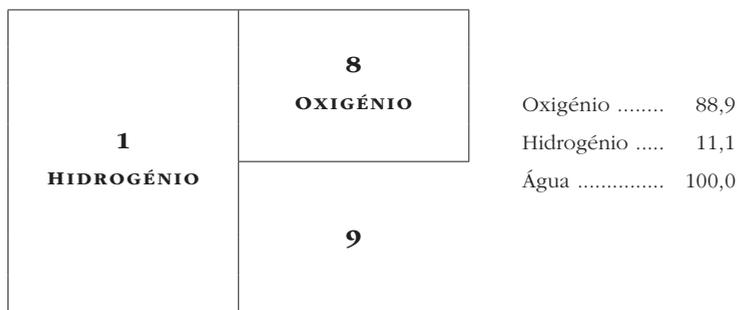
Fig. 20

Os cabos da bateria estão agora correctamente ligados ao recipiente que contém a água e vocês vêem as bolhas a libertarem-se; vamos recolhê-las e identificar esse gás. Tenho aqui um tubo de vidro (O), vou enchê-lo de água e colocá-lo num dos pólos (A) da pilha, e colocar outro tubo (H) na outra extremidade (B). Temos agora uma montagem dupla, com dois locais de libertação de gás. Ambos os recipientes ficarão cheios de gás. Começamos, com o da esquerda (H) a encher muito rapidamente e o da direita (O) a não ficar cheio tão depressa, mas, apesar de eu ter deixado escapar algumas bolhas de gás, tudo decorre regularmente e, apesar dos tubos terem aproximadamente o mesmo tamanho, verificarão que o tubo (H) contém o dobro de gás do tubo (O). Ambos os gases são incolores e não sofrem qualquer condensação, são semelhantes em quase tudo – quero dizer, aparentemente – e poderemos agora observar estas duas substâncias e verificar de que substâncias se trata. Obtivemos um grande volume, por isso podemos testá-las. Vou primeiro recolher este tubo (H) e pedir-vos que se preparem para reconhecer o hidrogénio.

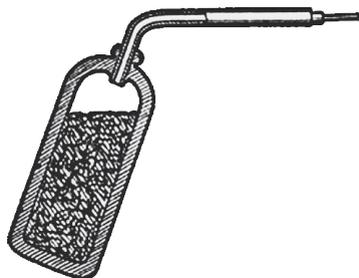
Recordem todas as suas propriedades: um gás muito leve, que se mantém num vaso invertido, ardendo com uma chama pálida na boca do frasco, e vejam se este gás está de acordo com essas características. Se se tratar de hidrogénio, ficará aqui no tubo mesmo que eu o inverta. [Inicia a combustão do hidrogénio por meio de um pavio.] E o que é que temos no outro recipiente? Sabem que estes dois gases, quando em contacto, formam uma mistura explosiva. Mas o que poderá ser, sabendo nós que é o outro constituinte da água e que deve ser a substância que permite a combustão do hidrogénio? Sabemos que a água que pusemos no recipiente é constituída por duas substâncias. Sabemos que uma delas é o hidrogénio: o que será a outra, que estava na água e que agora temos aqui isolada? Vou agora colocar este pavio incandescente no gás. O gás não arde mas faz arder o pedaço de madeira. [O conferencista provoca a ignição do pavio e coloca-o dentro do recipiente do gás.] Vejam como o gás transmite vigor à combustão do pavio, como ele arde muito mais vivamente do que o faria ao ar; e agora verifiquem vocês mesmos o que é esta substância contida na água que, quando a água é formada por combustão da vela, esta teve que retirar do ar. Como havemos de lhe chamar: A, B, ou C? Vamos designá-la por O – chamemos-lhe

“oxigénio” –, parece-me um nome original e sonante. Então, temos aqui oxigénio, que estava presente na água e que agora aqui se separou dela.

Temos agora que começar a perceber, de uma forma mais clara, o que ocorre nas nossas experiências e investigações, pois, quando verificarmos isto uma ou duas vezes, perceberemos porque é que uma vela arde no ar. Quando desta forma analisarmos a água – quero com isto dizer quando a tivermos separado, ou electrolisado, nos seus componentes, obteremos dois volumes de hidrogénio por cada volume do gás que permite a combustão do hidrogénio. Representaremos as duas substâncias no seguinte diagrama, anotando os seus pesos respectivos; e verificaremos que o oxigénio é muito pesado se comparado com o hidrogénio. E é este o outro elemento da água.



Eu faria melhor, talvez, em vos dizer agora como obter este oxigénio em grande quantidade, já que vos mostrei como o podemos isolar a partir da água. O oxigénio, como facilmente podem imaginar, existe na atmosfera; se não, onde o iria buscar a vela para produzir água por combustão? Seria impossível, quimicamente impossível, obter água sem oxigénio. Podemos obter oxigénio do ar? Sim, há processos, embora complicados, de obter oxigénio do ar, mas há formas melhores de o conseguir. Existe uma substância, chamada óxido negro de manganésio; é um mineral muito escuro, mas muito útil, e que quando aquecido até ficar rubro liberta o nosso oxigénio.



*Fig. 21*

Temos aqui um frasco de ferro em que colocámos um pouco de óxido negro de manganésio e fixámos-lhe um tubo; e temos aqui um fogo onde o Sr. Anderson irá colocar esta retorta que é feita de ferro e que por isso pode ser colocada sobre o fogo. Tenho aqui um sal chamado clorato de potássio, que é agora fabricado em grandes quantidades para branqueamento e para outros usos químicos e médicos e também em pirotecnia. Vou usar algum clorato de potássio e misturá-lo com algum óxido de manganésio (também poderia utilizar óxido de ferro ou de cobre); se os colocar juntos na retorta, não preciso sequer de aquecer até o óxido de manganésio estar rubro para que se liberte oxigénio da mistura. Não preparei as coisas para obter muito oxigénio, apenas pretendo o suficiente para as nossas experiências. Mas, e vocês verificarão isso imediatamente, se eu proceder numa pequena escala, a primeira porção de gás vai misturar-se com o ar ainda na retorta e eu terei que a sacrificar por estar demasiado diluída em ar; desse modo, teria que eliminar a primeira porção. Vocês vão verificar que uma vulgar lamparina de álcool é suficiente para se obter oxigénio e, por isso, vamos ter dois processos a ocorrer simultaneamente. Vejam como o gás se liberta livremente da mistura.

Vamos observá-lo e registar as suas propriedades. Deste modo estamos a produzir, como vocês vêem, um gás semelhante àquele que produzimos com a bateria, transparente, não se dissolvendo na água e aparentemente com as propriedades visíveis da nossa atmosfera. (Como o primeiro frasco obtido contém muito ar misturado com o oxigénio que se foi libertando durante esta preparação, vamos ter que o deitar fora e vamos preparar-nos para realizar esta experiência de uma forma mais reprodutível e digna.) E, como a propriedade de activar a combustão da madeira, da cera ou de outros materiais era tão vincada no oxigénio obtido da água pela pilha voltaica, poderemos esperar observar o mesmo aqui. Vamos experimentar. Vejam a combustão de um pavio incandescente no ar, e agora observem a mesma combustão neste gás [mergulhando o pavio no frasco.] Vejam como arde de uma forma tão bela e brilhante! Podem ainda observar mais coisas: é um gás pesado, enquanto o hidrogénio sobe tanto como um balão, ou ainda mais do que um balão, desde que não sobrecarregado com o peso do envólucro.

Facilmente verificamos que, apesar de a partir da água se obter o dobro do volume de hidrogénio em relação ao de oxigénio, isso não significa que o mesmo aconteça com as suas massas, porque um dos gases é pesado e o outro mais leve. Temos meios de pesar os gases do ar, mas, sem me deter para vos explicar como, deixem-me dizer-vos quais são os seus pesos

respectivos. O peso de uma *pinta* de hidrogénio é três quartos de um *grão*; o peso da mesma quantidade de oxigénio é quase 12 *grãos*. É uma grande diferença. O peso de um pé cúbico de hidrogénio é um doze avos de *onça*,<sup>60</sup> e o peso de um pé cúbico de oxigénio é uma *onça* e um terço. E assim sucessivamente até obtermos massas capazes de se pesarem numa balança, que poderão ser centenas de quilos ou toneladas como hão-de verificar.

Vamos agora investigar esta capacidade do oxigénio para activar as combustões e que devemos comparar com a do ar; para isso vou utilizar um pedaço de vela e fazer uma demonstração grosseira que dará, obviamente, resultados grosseiros. Temos a nossa vela a arder no ar: como é que ela arderá no seio do oxigénio? Tenho aqui um frasco desse gás e vou colocá-lo sobre a vela para que possam comparar com o que acontece com a vela no ar. Observem isto, parece a luz que obtinham nos pólos da bateria voltaica. Pensem em como deve ser vigorosa a acção do oxigénio sobre a vela. E, no entanto, durante toda a reacção nada mais é produzido do que o que produz a vela a arder no ar. Da mesma forma é produzida água; o fenómeno é exactamente o mesmo, quer usemos este gás em vez do ar ou a vela esteja a arder no ar.

E agora, que já sabemos algumas coisas sobre esta nova substância, podemos olhar para ela com mais cuidado, de modo a assegurarmo-nos de que obtemos uma boa compreensão geral desta parte dos produtos da vela.

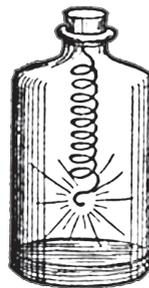


Fig. 22

<sup>60</sup> Ver notas 51 e 57 do capítulo 3 sobre unidades. No caso presente, a proporcionalidade é perceptível sem ser necessário fazer a conversão das unidades. (NT)

É maravilhoso o poder que esta substância tem em relação à combustão. Por exemplo, temos aqui uma lâmpada, que poderá ser a lâmpada que originou uma grande variedade de lâmpadas que são construídas para diversos fins – para faróis, para a iluminação de microscópios ou para outras utilizações; se nós pretendêssemos que ela brilhasse intensamente, vocês perguntar-me-iam “se uma vela arde melhor em oxigênio, o mesmo não ocorrerá com a lâmpada?” Vamos ver se tal é verdade. O Sr. Anderson vai dar-me um tubo proveniente do nosso reservatório de oxigênio e eu vou aplicá-lo na chama que, propositadamente, fiz arder de uma forma deficiente. Eis que chega o oxigênio: que combustão ele produz! Se eu retirar o oxigênio, o que é que acontece à lâmpada? [O fluxo de oxigênio é interrompido e a lâmpada regressa à sua fraca combustão.] É fantástico como, por meio do oxigênio, aceleramos as combustões. Mas o oxigênio não afecta só a combustão do hidrogênio, do carbono ou da vela, ele exalta todos os tipos de combustões. Vamos ver o que acontece, por exemplo, com o ferro, uma

vez que já observámos a combustão do ferro na atmosfera. Temos um frasco de oxigênio e temos aqui um pedaço fino de ferro; mas, se fosse uma barra tão grossa como o meu pulso, o efeito seria o mesmo. Vou primeiro atarraxar um pedaço de madeira ao ferro, colocar a madeira no fogo e mergulhá-los no frasco de oxigênio. A madeira



*Fig. 23*

está agora em chamas e arde como se esperaria que a madeira ardesse em oxigênio, mas dentro de momentos vai transmitir a sua combustão ao ferro.

O ferro está agora a arder de forma brilhante e assim continuará por bastante tempo. Enquanto lhe fornecermos oxigênio, a combustão prosseguirá enquanto todo o ferro não for consumido.

Vamos agora pôr o ferro de lado e pegar noutra substância; mas temos que limitar o número de experiências, porque não temos tempo para realizar tudo o que vocês teriam direito a ver realizado se tivéssemos mais tempo. Vamos pegar num pedaço de enxofre: vocês sabem como o enxofre arde no ar, mas vamos agora colocá-lo sob oxigênio e vão ver que tudo o que

arde no ar também arde, com maior intensidade, em oxigénio, levando-vos a pensar que se calhar as propriedades de combustão da atmosfera se devem à presença deste gás.

O enxofre arde agora muito suavemente em oxigénio; mas vocês não se devem esquecer, nem por um momento, do muito maior poder que o

oxigénio possui de activar as combustões, se comparado com o poder do ar. Vou agora demonstrar a combustão de outra substância, o fósforo, que posso executar aqui mais eficientemente do que vocês o poderiam fazer em casa. É uma substância muito combustível; e se o é na presença de ar, o que é que esperam que aconteça na presença de oxigénio? Vamos verificar isso mesmo, agora, na sua máxima intensidade e, por assim ser, temo que iremos estragar esta montagem; pode até acontecer que o frasco se parta e que isso não ocorra por eu ser descuidado. Observem como arde no ar. Mas comparem agora a gloriosa luz que nos oferece quando eu o introduzo no oxigénio [introduzindo o fósforo incandescente no oxigénio.] Vejam como se libertam partículas sólidas que lhe conferem esta luz tão brilhante.

Assim, verificámos o poder do oxigénio e as combustões intensas que produz quando em contacto com outras substâncias. Devemos agora, e por uns momentos, deter-nos de novo na observação do hidrogénio. Já sabem que, quando permitimos que o oxigénio e o hidrogénio obtidos da água entrem em contacto, se observa uma pequena explosão. Também se devem recordar de que, quando o hidrogénio entrou em combustão no frasco contendo oxigénio, se observou apenas uma pequena luz, mas que a reacção libertou uma grande quantidade de calor; vou agora incendiar uma mistura de hidrogénio e de oxigénio, em que os dois gases se encontram na proporção em que ocorrem na água. Temos aqui um recipiente contendo um volume de oxigénio e dois volumes de hidrogénio. Esta mistura tem exactamente a mesma natureza daquela que obtivemos com a bateria voltaica e certamente não arderá de uma vez só; então vou adicionar algumas bolas de sabão, que queimarão com a mistura e que nos ajudarão a



*Fig. 24*

verificar o papel do oxigénio na combustão do hidrogénio. Vamos primeiro verificar se conseguimos fazer explodir uma bola de sabão. Aqui vai o gás. [Libertando gás através de um cachimbo sobre as bolas de sabão.] Tenho aqui uma bola de sabão. Vou recolhê-la na minha mão e, se calhar, vocês estão a pensar que eu estou a agir de forma tola durante esta experiência, mas quero apenas demonstrar-vos que não devemos acreditar em tudo o que ouvimos, mas apenas em factos reais. [Fazendo explodir uma bola de sabão na palma da mão.] Tenho receio de fazer explodir uma bola à saída do cachimbo, porque a explosão iria transmitir-se ao frasco e parti-lo em bocadinhos. Agora o oxigénio reage com o hidrogénio, atingindo um máximo de actividade, como podemos comprovar pela observação e pelo som produzido, e todo o poder do oxigénio foi utilizado neutralizando as propriedades do hidrogénio.

Penso que agora já compreendem toda a história da água, no que ao oxigénio se refere, e ao ar, de que falámos anteriormente. Porque é que um pedaço de potássio decompõe a água? Porque encontra oxigénio na água. O que é que se liberta quando eu o coloco na água, como vou fazer de novo? Liberta-se hidrogénio e o hidrogénio arde, mas o potássio combina-se com o oxigénio; e este pequeno pedaço de potássio, decompondo a água – a água que, como poderão dizer, proveio da combustão da vela –, retirou o oxigénio que a vela retirou do ar, libertando hidrogénio. Mesmo que eu utilizasse um cubo de gelo e colocasse em cima do gelo um pedaço de potássio, as afinidades pelas quais o hidrogénio e o oxigénio estão relacionados são de tal modo intensas que, mesmo nesse caso, o gelo colocaria o potássio em chamas. Mostrei-vos hoje isto, para aumentar as vossas ideias sobre todas estas coisas e para que vocês compreendam de que maneira os resultados se adaptam às circunstâncias. Observem o potássio no gelo, produzindo como que um vulcão.

Estarei aqui de novo, no nosso próximo encontro, depois de vos ter chamado a atenção para todos estes estranhos fenómenos, para vos explicar que todos estes intrigantes e por vezes perigosos acontecimentos não ocorrem somente na combustão de uma vela, mas no gás das nossas ruas, nos combustíveis do nosso aquecimento, desde que nos ajustemos às leis que a Natureza produziu para nos guiar.

(Página deixada propositadamente em branco)

## LIÇÃO 5

Oxigénio presente no ar – a natureza da atmosfera – as suas propriedades – outros produtos de uma vela – o ácido carbónico e as suas propriedades

Vimos que podemos produzir oxigénio e hidrogénio a partir da água obtida da combustão de uma vela. O hidrogénio, sabem que vem da vela e acreditam que o oxigénio provém da atmosfera. Mas então podem perguntar-me “porque é que o oxigénio e o ar não põem igualmente bem a vela a arder?” Como se devem recordar, quando eu coloquei um frasco cheio de oxigénio sobre uma vela, a combustão que então ocorreu foi muito diferente da que observámos com a vela exposta ao ar. E porquê? Trata-se de uma questão muito importante e tenho que fazer um esforço para que compreendam bem a razão: está relacionada com a natureza da atmosfera e é muitíssimo importante para nós.

Temos vários testes para o oxigénio, para além de apenas queimar substâncias. Observaram a combustão de uma vela, no oxigénio ou no ar; observaram o fósforo em combustão no ar e no oxigénio; e viram a combustão da limalha de ferro no seio do oxigénio. Mas existem muitos testes para além destes, vou referir um ou outro com o propósito de aumentar o vosso conhecimento e a vossa experiência. Tenho aqui um frasco com oxigénio. Vou verificar que se trata de oxigénio: se eu pegar num pavio e o colocar no oxigénio, sabem, da experiência que adquiriram no nosso último encontro, o que vai suceder – se eu colocar este pavio incandescente dentro do frasco, verificaremos se se trata ou não de oxigénio. Sim! Provámo-lo pela combustão que ocorreu. E agora um outro teste para o oxigénio, que

é muito curioso e útil. Tenho aqui dois frascos cheios de gás, separados por uma placa que não permite que os gases se misturem. Retiro a placa de separação e os gases começam a misturar-se um com o outro. “O que acontece?”, perguntam vocês. “Não observamos qualquer combustão como no caso da vela”. Mas observem como verificamos a presença de oxigénio através da associação com esta outra substância (nota 16). Que lindo gás colorido obtive deste modo, que me revela a presença de oxigénio! Do mesmo modo, podemos realizar esta experiência misturando ar comum com este gás-teste. Tenho aqui um frasco cheio de ar, o ar que a vela utiliza, e aqui um frasco cheio com o gás-teste. Deixo que o conteúdo dos dois frascos seja posto em contacto sobre água e vejam que obtenho exactamente a mesma reacção que tive anteriormente, o que comprova a existência de oxigénio no ar – a mesmíssima substância obtida através da água da combustão da vela. Mas então porque é que a vela não arde no ar da mesma forma que o faz no oxigénio? Haveremos de voltar a esta questão. Tenho aqui dois frascos, ambos contêm o mesmo volume de gás e a sua aparência a olho nu é semelhante, e não sei mesmo qual destes frascos contém oxigénio e qual contém ar, apenas sei que foram previamente cheios com esses gases. Tenho aqui o nosso gás-teste. Vou adicionar este gás a cada um dos frascos e verificar se existe alguma diferença na forma como fazem o gás-teste adquirir a cor avermelhada. Vou adicionar o gás-teste a este frasco e ver o que acontece. Vejam, ficou avermelhado, há oxigénio neste frasco. Vamos agora testar o outro frasco; observem que não ficou tão vermelho e, para além disso, vai acontecer uma coisa curiosa: se eu misturar os dois gases com água, desaparece a cor vermelha do gás, e se eu misturar mais gás-teste e agitar, a cor volta a desaparecer e poderia assim continuar enquanto houvesse oxigénio para produzir este efeito. Se eu o deixar ao ar não há qualquer modificação, mas, logo que eu o introduzo na água, o gás vermelho desaparece, e posso continuar do mesmo modo até ficar com alguma coisa que já não avermelha por adição desta substância que torna o oxigénio e o ar vermelhos. Porque é que isto acontece? Verão, dentro de momentos, que assim é porque existe qualquer coisa para além de oxigénio, e que permanece depois de todo o oxigénio ser consumido. Vou deixar entrar mais um pouco de ar no frasco: se ele ficar vermelho, saberão que

algum deste gás que avermelha estará presente e, conseqüentemente, que isso não é devido a essa substância que o ar deixa para trás quando todo o oxigênio desaparece.

Agora devem estar prontos para compreender o que vos vou explicar. Viram que, quando eu queimei fósforo num frasco, quando o fumo produzido pelo fósforo e o oxigênio do ar condensam, resta uma boa quantidade de gás que não reagiu, tal como agora este gás vermelho também deixou alguma coisa inalterada; há de facto um gás remanescente, com o qual o fósforo não reagiu e com que o gás vermelho também não reagiu, que não é oxigênio e que faz parte da atmosfera.

Esta é uma forma de extrairmos do ar duas das substâncias de que é composto: o oxigênio, que queima as nossas velas, o nosso fósforo, ou outras coisas; e esta outra substância, o azoto – que não activa as combustões. Este outro componente do ar é de longe o seu maior constituinte, e é uma substância muito curiosa de observar, mesmo muito curiosa, e se calhar vocês iam classificá-la de desinteressante. Por um lado, é desinteressante porque não tem efeitos fantásticos sobre as combustões. Se eu o testar com um pavio incandescente, nem arde como o hidrogênio, nem faz o pavio arder como o oxigênio. Experimentem da mesma forma que eu o fiz: não se verifica nem uma coisa nem a outra, nem arde nem provoca a combustão do pavio – elimina a combustão de toda e qualquer coisa. Nada arderá no seu interior em circunstâncias normais. Não tem cheiro, não é azedo, não se dissolve em água, não é ácido nem básico; é irrelevante para todos os nossos órgãos como nenhuma outra substância. E vocês devem dizer “Se não serve para nada, se não tem relevância química, o que faz ele no ar?” Ah, é aí que entram as fantásticas conclusões a que iremos chegar usando um grande poder de filosofar. Suponham que, em vez de termos azoto ou azoto e oxigênio, tínhamos apenas oxigênio puro como atmosfera; o que nos aconteceria? Sabem muito bem que um pedaço de ferro num frasco de oxigênio entra em combustão, e assim permanece até desaparecer. Quando vêem uma grelha de ferro no fogo, imaginem o que aconteceria se a atmosfera fosse apenas oxigênio. A grelha arderia mais vigorosamente que carvão, porque o ferro da própria grelha é ainda mais combustível do que o carvão que nela queimamos. Um fogo no interior de uma locomotiva

seria como um fogo num armazém de combustível se a atmosfera fosse somente oxigénio. O azoto diminui este poder do oxigénio, torna o oxigénio moderado e útil para nós, e ainda transporta os fumos produzidos pelas velas, dispersando-os por toda a atmosfera, levando-os para locais onde são necessários para executarem uma gloriosa tarefa em prol do bem-estar humano, onde são o sustentáculo da vegetação.<sup>61</sup> Como vêem, o azoto realiza um trabalho maravilhoso, apesar de vocês, quando o observaram, terem afirmado “é uma coisa desinteressante”. Este azoto, no seu estado original, é uma substância inerte; nenhuma acção menor do que a força eléctrica mais intensa, e apenas num grau infinitamente pequeno,<sup>62</sup> pode fazer com que o azoto se combine com o outro elemento da atmosfera, ou com outra substância qualquer que exista em torno dele. É perfeitamente inerte e, por isso, podemos dizer que é uma substância segura.

Mas antes que eu vos leve a estas conclusões, devo primeiro elucidar-vos sobre a atmosfera. Escrevi neste diagrama a sua composição por cem partes de ar atmosférico:

	<b>Volume</b>	<b>Massa</b>
Oxigénio	20	22,3
Nitrogénio	80	77,7
	100	100,0

É uma verdadeira análise da atmosfera no que respeita às quantidades de oxigénio e azoto presentes. Pela nossa análise, concluimos que em 5 *pintas* de atmosfera existe em volume 1 *pinta* de oxigénio e 4 *pintas* de

---

<sup>61</sup> É interessante esta afirmação de Faraday de que o fumo produzido pela vela será útil por servir de sustentáculo à vegetação. No capítulo 6, Faraday irá indicar o dióxido de carbono como responsável por esse efeito. (NT)

<sup>62</sup> Quando o azoto é exposto a um campo eléctrico intenso a baixas pressões, forma-se uma espécie reactiva deste elemento, como foi descoberto por Lord Rayleigh em 1910, o que já seria, aparentemente, conhecido por Faraday. (NT)

azoto.<sup>63</sup> Esta é a análise que fazemos da atmosfera. É necessária toda essa quantidade de azoto para reduzir a actividade do oxigénio, de modo a ser capaz de fornecer o combustível necessário à vela, para nos oferecer uma atmosfera em que os nossos pulmões possam trabalhar de uma forma segura e saudável; porque é tão importante obter a quantidade de oxigénio adequada à nossa respiração como obter a atmosfera adequada para um fogo ou uma vela arderem.

Regressemos à atmosfera. Primeiro, deixem-me falar-vos do peso destes gases. Uma *pinta* de azoto tem de massa 10,4 *grãos*, um pé cúbico pesa 1,6 *onças*. Esta é a massa de azoto. O oxigénio é mais pesado: uma *pinta* pesa 11,9 *grãos* e um pé cúbico pesa 1,75 *onças*. Uma *pinta* de ar pesa 10,7 *grãos* e um pé cúbico 1,2 *onças*.<sup>64</sup>

Vocês já me perguntaram muitas vezes, e eu fico muito feliz por isso, “Como é que se pesam gases?” Vou mostrar-vos: é muito simples e fácil de executar. Tenho aqui uma balança



Fig. 25

e aqui uma garrafa de cobre, tão leve quanto possível de modo a manter a sua resistência, perfeitamente torneada e tornada hermética devido à existência destas válvulas, que se podem abrir e fechar; agora estão abertas, de modo a permitirem que a garrafa se encha de ar. Tenho aqui uma balança, perfeitamente calibrada e penso que, tal como está, a garrafa será equilibrada pelo peso no outro prato da balança. E tenho aqui uma bomba com a qual podemos forçar a entrada de ar na garrafa, e podemos forçar a entrada de um determinado número de volumes de ar, medidos com a bomba [vinte volumes de ar são bombeados para dentro da garrafa]. Fechamos as válvulas e colocamos a garrafa na balança. Vejam como o prato desce, está muito mais pesada do que estava inicialmente. E devido a quê? Devido ao

<sup>63</sup> Pode substituir-se *pintas* por *partes* sem que se altere o ritmo e a fidelidade ao texto. (NT)

<sup>64</sup> Ver notas 51 e 57 do capítulo 3 sobre unidades. (NT)

ar que forçámos a entrar usando a bomba. Não temos um grande volume de ar, mas temos lá o ar contido no volume que medimos e que forçámos a entrar. E para que vocês tenham uma ideia correcta de quanto mede este ar, tenho aqui um frasco cheio de água. Vamos abrir a garrafa de cobre para o frasco de água e deixar que o ar volte ao seu estado inicial.

Tudo o que temos que fazer é mantê-los firmemente juntos e fechar as torneiras; tal como podem observar, temos o volume de vinte bombas de ar que foi forçado a entrar na garrafa; para termos a certeza de que procedemos correctamente, vamos pesar de novo a garrafa e, se agora o peso do outro prato a equilibrar, teremos a certeza de que procedemos correctamente. A balança encontra-se equilibrada, por isso podemos determinar o peso da quantidade de gás que forçámos a entrar na garrafa e, deste

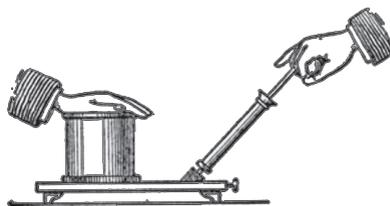


*Fig. 26*

modo, ter a certeza de que um pé cúbico de gás tem de massa 1,2 *onças*. Mas esta pequena experiência não transmite às nossas mentes toda a verdade sobre este assunto. É fantástico verificar como estes valores aumentam quando passamos para volumes maiores. Este volume de ar [um pé cúbico] pesa 1,2 *onças*. O que é que pensam desta caixa que tenho aqui em cima e que eu construí para este fim? O ar contido nesta caixa pesa uma libra, uma libra inteira; e calculei também o peso do ar nesta sala. Dificilmente imaginariam que pesa mais de uma tonelada, tão rapidamente aumenta o seu peso, e tão importante é a atmosfera, e tão importantes são o oxigénio e azoto nela contidos, e a forma como a atmosfera transporta coisas de um local para outro, levando vapores nocivos para sítios onde eles são benéficos em vez de prejudiciais.

Depois de algumas informações sobre o peso do ar, vamos ver algumas consequências com ele relacionadas. Vocês merecem estas informações, já que não entenderiam muitas coisas se não percebessem bem esse assunto. Recordam esta experiência? Já alguma vez a viram? Suponham que eu tenho uma bomba similar à que tive aqui há um bocadinho para forçar a entrada de

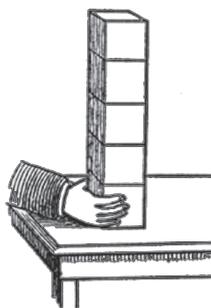
ar na garrafa, e suponham que preparo as coisas de modo a poder colocar a minha mão sobre esta bomba. A minha mão move-se tão facilmente no ar que parece não sentir a influência dele, e dificilmente conseguiria mexer-me sozinho na atmosfera com velocidade suficiente, para sentir a resistência da atmosfera a esse movimento.



*Fig. 27*

Mas, quando eu coloco aqui a minha mão [na entrada da bomba de ar, de onde é depois retirado todo o ar], vocês vêem o que acontece. Porque é que a minha mão é aqui sugada, e porque é que eu sou capaz de puxar esta bomba? E vejam, como é que eu quase não consigo retirar a minha mão? Porque é que isto acontece? Isto é devido ao peso do ar – o peso do ar que se encontra por cima.

Tenho aqui outra experiência, que vos explicará isto melhor. Quando o ar é bombeado sob esta bexiga esticada sobre este copo,<sup>65</sup> irão observar o efeito sobre a sua forma: o topo encontra-se, para já, bastante plano, mas eu vou provocar um pequeno movimento com a bomba, e vejam agora como desceu, como começa a dobrar, vocês verão a bexiga a descer cada vez mais, assim o espero, até rebentar pela força da atmosfera que a pressiona. [A bexiga acaba por romper acompanhada de um ruído.] Isto foi apenas realizado pelo peso do ar pressionando a bexiga e com certeza compreenderão como ocorreu. As partículas na atmosfera encontram-se umas em cima das outras, tal como estes cinco cubos: é para vocês fácil de ver que quatro dos cinco cubos se encontram por cima do primeiro e que, se eu retirar este, todos os outros vão cair.



*Fig. 28*

<sup>65</sup> Faraday usa como membranas flexíveis uma bexiga de animal e uma tira de látex que denomina borracha da Índia. Cf. nota 50 sobre balões no capítulo 3. (NT)

O mesmo acontece com a atmosfera: o ar que se encontra por cima é sustido pelo que está por baixo e, quando o ar que se encontra por baixo é bombeado para fora, acontece o que vocês observaram quando eu coloquei a minha mão na bomba de ar e também no caso da bexiga, e que podem agora observar melhor. Eu estiquei sobre este frasco um pedaço de uma tira de borracha da Índia, e vou agora retirar o ar de dentro do frasco, e verão o que acontece à borracha, que actua como uma fronteira entre o ar acima e o ar abaixo – verão, quando eu bombear o ar, o que ocorre com a pressão. Observem o que vai acontecer: posso até colocar a minha mão no frasco, e na verdade este efeito é apenas causado pelo enorme poder do ar que se encontra por cima. Que bem que esta experiência nos demonstra este fenómeno!

Temos aqui uma montagem onde vocês podem vir dar um puxão no fim desta lição. Trata-se de uma montagem de dois hemisférios de bronze, ocios, mantidos bem encostados, aos quais ligámos um tubo e uma torneira que nos permitem fazer a exaustão do ar do seu interior; e, embora as duas metades sejam facilmente separadas enquanto houver ar dentro delas, à medida que vamos retirando ar vocês irão verificar que nem a força de dois de vós será suficiente para os separar. Cada polegada quadrada da superfície que está contida na área deste objecto sustém quinze libras de peso, ou cerca desse valor, quando o ar é retirado, e vocês podem utilizar toda a vossa força para verificarem se são capazes de ultrapassar a pressão da atmosfera.

Temos aqui outra coisa interessante – uma *ventosa dos rapazes*,<sup>66</sup> só que aperfeiçoada pelo filósofo. Nós, jovens, temos o direito de trazer brinquedos para dentro da filosofia, ainda mais quando, actualmente, fazemos da filosofia diversão. Temos aqui uma ventosa que apenas difere das habituais por ser feita de borracha. Se eu a segurar sobre a mesa, vejam que ela adere à sua superfície. Porque é que isso acontece? Posso deslizá-la sobre a mesa, mas, se a puxar para cima, parece que a mesa vem atrás. Posso fazê-la deslizar de um ponto para outro, mas só quando me aproximo das bordas

---

<sup>66</sup> *Boy's sucker* é uma ventosa de couro com um cordel no meio com que os jovens se podiam divertir a levantar pedras ou outros objectos. Cf. HOOKER, W. – *The Child's Book of Nature*, Part III. 1857, p. 49. (NT)

consigo retirá-la de lá. Fica colada apenas por acção da pressão atmosférica. Temos um par delas e, se as pressionarmos uma contra a outra, vejam como ficam coladas tão firmemente. E, na verdade, nós podemos utilizá-las com o objectivo para que foram fabricadas, para colarem a janelas ou colarem a paredes, onde ficarão todo o serão e onde poderemos pendurar aquilo que quisermos. Eu penso que vocês, rapazes, merecem que vos mostre experiências que possam repetir em casa; e, por isso, aqui temos uma interessante experiência que ilustra a pressão exercida pela atmosfera. Tenho aqui um copo com água. Suponham que eu vos peço para virarem o copo ao contrário, de modo a que a água não verta sem ser impedida pela vossa mão, mas utilizando a pressão da atmosfera; conseguiriam fazer isto? Peguem num copo e encham-no até cima, ou até ao meio, com água e coloquem um cartão no cima; virem o copo ao contrário e agora observem o que acontece à água e o que acontece ao cartão. O ar não pode entrar dentro do copo porque a água, por atracção capilar em torno dos bordos do copo, não permite a sua entrada.

Acho que isto vos dá uma boa ideia do que podem chamar a materialidade do ar: quando eu vos digo que esta caixa tem uma libra de ar e esta sala mais de uma tonelada, vocês hão-de começar a pensar que o ar é uma coisa séria. Vou ainda fazer mais uma experiência para vos convencer desta resistência positiva. É a bonita experiência da pistola de brincar, feita de uma forma perfeita e simples, usando a parte de fora de uma pena, um tubo, ou qualquer coisa desse género, onde poderemos colocar uma fatia de batata, por exemplo, ou de maçã: pegamos no tubo e cortamos uma pequena rodela como eu fiz agora e empurramo-la para um dos extremos. Agora pego noutra rodela de batata e coloco-a aí também: o que vai confinar o ar dentro do tubo de uma forma muito eficaz no que respeita aos nossos objectivos; e será agora praticamente impossível com a minha força fazer com que uma das rodelas se aproxime da outra. É impossível. Posso pressionar o ar até um certo ponto, mas, se continuar a pressionar, antes que a primeira rodela se aproxime da segunda, o ar sob pressão irá expulsar a outra com uma força semelhante à de uma pistola de pólvora, porque uma pistola de pólvora também depende de um fenómeno semelhante ao que viram aqui exemplificado.

Vi no outro dia uma experiência que muito me agradou, porque serve também as nossas intenções. (Devo agora calar-me por quatro ou cinco minutos antes de iniciar esta experiência, porque o sucesso dela depende dos meus pulmões.) Espero, por acção do ar, ser capaz de conduzir este ovo de um copo para o outro utilizando a força da minha respiração; mas, se eu não o conseguir, e não o posso prometer, isso será explicado pelo facto de eu ter falado mais do que devia para que a experiência tivesse sucesso. [O conferencista experimenta e consegue soprar o ovo de um copo para o outro.] O ar que eu soprei desce entre o ovo e o copo e provoca uma pequena explosão debaixo do ovo capaz de elevar um corpo pesado, porque um ovo inteiro é um corpo pesado para ser elevado por acção do ar. Se vocês quiserem repetir esta experiência, é melhor cozerem o ovo durante algum tempo e só depois, de uma forma segura, tentarem soprá-lo cuidadosamente de um copo para o outro.

Gastámos bastante tempo a estudar esta propriedade do peso do ar; apesar disso, há ainda outra coisa que devo mencionar. Vocês observaram o modo como, nesta pistola de brincar, eu fui capaz de conduzir a segunda rodela de batata ao longo de meia polegada ou dois terços de polegada, antes que a outra rodela iniciasse o seu movimento em virtude da elasticidade do ar, ou como eu forcei a entrada de ar na garrafa de cobre utilizando uma bomba de ar. Isso depende de uma fantástica propriedade do ar, a sua elasticidade, e queria mostrar-vos uma prova clara dessa propriedade. Se eu utilizar qualquer coisa capaz de confinar o ar eficazmente, como esta membrana – que também tem a capacidade de se contrair e expandir dando-nos uma ideia da elasticidade do ar – e confinar nesta bexiga uma certa porção de ar, então, se retirarmos o ar do exterior – tal como nos casos em que aumentamos a pressão também a podemos retirar –, verão como a bexiga expande, e expande cada vez mais até ter preenchido completamente este recipiente, demonstrando estas fantásticas propriedades do ar: a sua elasticidade, compressibilidade e expansibilidade, em grande escala, propriedades essenciais à função que desempenha na economia da criação.

Vamos agora mudar para um outro campo muito importante do nosso tema, recordando que observámos a vela a arder e verificámos que dá

origem a vários produtos. Temos como produtos fumo, água e qualquer outra coisa que se liberta no ar. Recolhemos a água, mas permitimos que as outras coisas se libertassem para o ar. Vamos então examinar alguns dos outros produtos.

Eis uma experiência que penso que nos vai ajudar a atingir esse objectivo. Vamos colocar aqui a nossa vela e colocar sobre ela uma chaminé; penso que a vela continuará a arder porque continua a passar ar por cima e por baixo. Em primeiro lugar, vêem a humidade que aparece – isto já vocês conhecem: é água produzida pela vela por acção do ar sobre o seu hidrogénio. Mas para além disso, alguma coisa sai pelo cimo da chaminé; não é humidade, não é água, não é condensável, e também parece ter propriedades muito especiais.

Hão-de verificar que o ar que sai pelo topo da nossa chaminé é quase suficiente para apagar esta chama que lhe coloquei perto e, se colocar a chama em completa oposição à corrente de ar, vai mesmo apagá-la. Vocês vão dizer-me que é assim que deve ser, e eu suponho que vocês pensam assim porque o azoto não suporta as combustões, e deve apagar a vela, já que ela não arderá em azoto. Mas haverá mais alguma coisa para além de azoto? Vou antecipar a resposta,



*Fig. 29*

quero dizer, vou usar o meu conhecimento para vos fornecer os meios que adoptamos para chegar a estas conclusões e para testarmos gases como estes. Vou pegar numa garrafa vazia – aqui tenho uma – e vou segurá-la por cima da chaminé. Vou ter a combustão da vela por baixo a enviar os seus produtos para a garrafa que está em cima, e veremos daqui a pouco que esta garrafa não contém apenas ar que é prejudicial no que respeita à combustão de um pavio, mas tem outras propriedades.

Deixem-me pegar num bocadinho de cal e colocar-lhe um pouco de água – a água comum serve. Vou mexer por um bocado, depois vou filtrar a mistura num funil, com um papel de filtro, e vamos obter uma solução límpida na garrafa por debaixo, como tenho agora. Tenho muita desta água

noutra garrafa, mas quero usar esta água de cal, preparada de fresco na vossa presença, para que vocês fiquem conscientes da sua utilidade. Se eu pegar em alguma desta bela e límpida água de cal e a colocar na garrafa onde recolhi o ar obtido da vela, verificarão que ocorre uma mudança. Conseguem ver que a água adquire um tom leitoso? Vamos ver que o mesmo não acontece com o ar comum. Tenho aqui uma garrafa cheia de ar e, se eu colocar lá dentro um pouco de água de cal, nem o oxigénio, nem o azoto nem nada que exista nesta quantidade de ar provoca qualquer alteração na água de cal. Continua perfeitamente límpida e a agitação desta quantidade de água de cal com uma quantidade de ar na sua forma comum não causará qualquer mudança, mas, se eu pegar nesta garrafa de água de cal e a colocar em contacto com os produtos obtidos da combustão da vela, num pequeno intervalo de tempo obteremos um tom leitoso. Temos esta espécie de giz, composto pela cal que usámos para fazer a água de cal, combinada com qualquer outra coisa vinda da vela – o produto de que andamos à procura, e do qual vou falar-vos hoje. Trata-se de uma substância que se tornou agora visível pela sua acção sobre a água de cal, que não é a reacção típica do oxigénio, nem do azoto, nem da própria água, mas qualquer coisa nova e que sai da vela. Observem, então, este pó branco produzido pela água de cal e pelo vapor da vela, tão parecido com o estuque ou o giz, o qual, quando é examinado, mostra ser a mesma substância do estuque ou do giz. E assim fomos conduzidos a observar os diferentes aspectos desta experiência e a seguir a produção de giz em todas as suas causas, adquirindo um conhecimento real da natureza da combustão da vela – e a verificarmos que a substância que sai da vela é exactamente a mesma substância que sairia de uma retorta onde colocássemos um pouco de giz e humidade, aquecendo-o até adquirir uma cor vermelha, obtendo-se exactamente a mesma substância produzida pela vela.

Mas temos uma melhor forma de obter esta substância em grande quantidade, de modo a podermos estudar as suas propriedades. Encontramo-la em grande abundância em muitas ocasiões, muitas vezes onde menos se espera. Todos os calcários contêm em grande quantidade o gás que se liberta da vela, e que denominamos *ácido carbónico*. Todo o giz, todas as conchas e corais contêm em grande quantidade este gás tão curioso.

Encontramo-lo fixado nestas rochas, e por essa razão o Dr. Black<sup>67</sup> chamou-lhe “ar fixo” – pois se encontra nestas coisas que o fixam, como sejam o giz e o mármore; ele chamou-lhe ar fixo porque perdeu as suas características e assumiu o estado sólido. Podemos facilmente obter esse ar a partir do mármore. Tenho aqui um frasco contendo ácido muriático, e aqui um pavio que vou colocar no frasco, e que vos vai demonstrar a existência de ar comum dentro do frasco. Vêem que o frasco está cheio de ar puro. Tenho agora aqui uma substância, mármore (nota 17), um lindíssimo mármore de superior qualidade e, se eu colocar uns pedaços deste mármore dentro do frasco, gera-se uma grande ebulição. No entanto, não se trata de vapor de água, mas de um gás que se liberta e, se eu agora aproximar uma vela do frasco, vou observar o mesmo efeito produzido sobre o pavio que tinha quando o coloquei sobre o ar que saía da chaminé da vela a arder. É exactamente o mesmo fenómeno, provocado pela mesma substância que sai da vela, e deste modo conseguimos obter ácido carbónico em grande quantidade, já quase que enchemos o frasco. Verificamos que este gás não existe só no mármore. Tenho aqui um recipiente onde coloquei algum giz ou estuque, que foi previamente lavado com água para o libertar de algumas partículas mais grosseiras, portanto aquilo que o estucador utiliza; tenho aqui um grande recipiente contendo o estuque e água, e tenho aqui um ácido forte, ácido sulfúrico, que é o ácido que vocês devem utilizar se quiserem realizar estas experiências (apenas com a utilização deste ácido com a cal, a substância produzida é insolúvel; com ácido muriático produz uma substância solúvel que não engrossa muito a água). E vocês perceberão porque é que eu elaborei esta experiência deste modo. Fi-lo para que vocês possam repetir, em menor escala, aquilo que vou realizar em grande escala. Temos aqui exactamente a mesma reacção, e vou obter neste grande recipiente ácido carbónico, com as mesmas natureza e propriedades que o gás produzido pela combustão de uma vela na atmosfera. E não importa se o ácido carbónico foi produzido de modo diverso, verão, quando chegarmos ao fim deste tema, que é exactamente o mesmo, independentemente de ser preparado por um ou outro processo.

---

<sup>67</sup> Joseph Black (1728-1799), médico escocês conhecido pelas suas descobertas do calor latente, calor específico e dióxido de carbono ao qual chamou “ar fixo”. (NT)

Vamos agora realizar mais uma experiência relacionada com este gás. Qual é a sua natureza? Este aqui é um dos vasos cheios de gás, e vamos testar, como já fizemos com outros gases, a sua combustão. Vêem que não é combustível, nem apoia as combustões. Nem é muito solúvel na água, como já sabíamos, já que o conseguimos obter facilmente mesmo na presença de água. Depois também verificámos que reage e se torna branco em contacto com a água de cal; e que quando o faz ficando branco, se transforma num dos constituintes do carbonato de cálcio ou do calcário.

O que vou demonstrar-vos de seguida é que este gás se dissolve um pouco em água, e que a esse respeito é muito diferente do oxigénio e do hidrogénio. Tenho aqui uma montagem com a qual podemos produzir essa solução. Na parte inferior tenho mármore e ácido e na parte superior água fria. As válvulas estão montadas de modo a que o gás produzido possa passar de uma parte para a outra. Vou colocar agora o aparato a funcionar, e podem ver o gás a borbulhar através da água, como se aqui tivesse estado toda a noite, e por agora iremos ver que temos esta substância dissolvida na água. Se pegar num copo e colocar dentro um pouco desta água, vou verificar que a água tem um sabor levemente ácido, encontra-se impregnada com ácido carbónico; e, se lhe adicionar agora um pouco de água de cal, teremos um teste da presença do ácido carbónico.

Depois, trata-se de um gás pesado, mais pesado que a atmosfera. Coloquei o seu peso no fundo desta tabela, juntamente com o peso de outros gases que já examinámos, para que os possamos comparar.

	<i>Pinta</i>		<i>Pé cúbico</i>	
Hidrogénio .....	$\frac{6}{4}$	<i>grãos</i>	$\frac{1}{12}$	<i>onças</i>
Oxigénio .....	11 $\frac{9}{10}$	"	1 $\frac{1}{3}$	"
Nitrogénio .....	10 $\frac{4}{10}$	"	1 $\frac{1}{6}$	"
Ar .....	10 $\frac{7}{10}$	"	1 $\frac{1}{5}$	"
Ácido carbónico .....	16 $\frac{1}{3}$	"	1 $\frac{9}{10}$	"

Uma *pinta* pesa  $16\frac{1}{3}$  *grãos* e um pé cúbico  $1\frac{9}{10}$  *onças*. Podem ver, através de muitas experiências diferentes, que se trata de um gás pesado. Suponham que eu tenho um copo que contém apenas ar, e deste vaso contendo ácido carbônico retiro um bocadinho que junto a esse copo – não sei se coloquei lá ou não. Não o posso afirmar pela aparência, mas posso verificar deste modo [introduzindo um pavio]. Sim, tenho aqui ácido carbônico, e se eu fizesse o teste da água de cal devia verificar o mesmo.

Pego agora neste balde e mergulho-o neste poço de ácido carbônico – sim, existem mesmo poços de ácido carbônico; e, agora, se existe aqui ácido carbônico, com o tempo algum deve passar para o balde que vamos examinar com um pavio. Sim, existe aqui ácido carbônico.

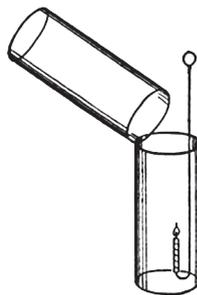


Fig. 30

Outra experiência com a qual eu mostrarei o peso desta substância: tenho aqui um frasco suspenso num dos pratos da balança, que está agora equilibrada; mas, quando eu coloco ácido carbônico no frasco onde antes havia ar, vão ver que esse lado abaixa devido ao peso do ácido carbônico que aí coloquei. E se eu agora examinar o frasco com um pavio, vou ver que, devido ao ácido carbônico que lá coloquei, ele já não suporta a combustão. Se eu soprar uma bola de sabão, que assim ficará cheia de ar, e a deixar cair neste frasco de ácido carbônico, a bola de sabão irá flutuar.

Mas primeiro vamos pegar num destes pequenos balões cheios de ar. Não tenho a certeza do local onde se encontra o ácido carbônico; experimentemos a várias profundidades para determinarmos mais ou menos o nível a que se encontra. Temos, então, este balão flutuando no ácido carbônico; se eu libertar mais um pouco de ácido carbônico, o balão subirá um bocadinho mais. Então vejamos: este frasco

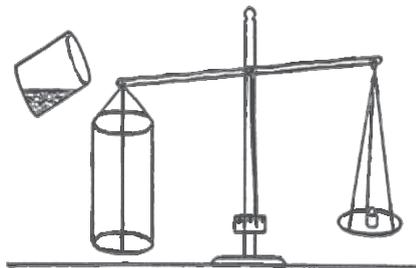


Fig. 31

está quase cheio, e vamos ver se eu consigo soprar uma bola de sabão e pô-la a flutuar do mesmo modo [o conferencista sopra uma bola de sabão e deixa-a cair no frasco de ácido carbónico, onde fica a flutuar no meio do frasco]. Flutua, tal como o balão, em virtude do maior peso do ácido carbónico em relação ao ar. E já que, por agora, terminei a história do ácido carbónico, desde a sua origem na vela até às suas propriedades físicas e peso, no nosso próximo encontro irei falar-vos da sua composição e de onde retira os elementos que o constituem.

## LIÇÃO 6

### O carbono ou o carvão – gás de carvão, a respiração e a analogia com uma vela – conclusão

Uma senhora, que me honra com a sua presença nestas lições, aumentou a minha responsabilidade enviando-me estas duas velas do Japão, que presumo serem feitas do material que referi na última lição. Observem como são ainda mais ricamente decoradas do que as velas francesas e, por isso, a julgar pela sua aparência, serão velas de luxo. Têm uma notável particularidade, um pavio oco – esta bela peculiaridade que Argand utilizou na sua lâmpada e que a tornou tão útil. A todos aqueles que receberam presentes como este, vindos do Oriente, devo dizer que este material e materiais semelhantes se alteram gradualmente e a sua superfície se torna baça e mortiça; mas a beleza destas velas pode ser recuperada se a sua superfície for esfregada com um pano limpo ou com um lenço de seda, de modo a polir as suas pequenas rugosidades ou asperezas e restaurar a beleza das suas cores. Eu poli assim uma destas velas e vejam a diferença em relação à outra que não foi polida, mas que pode ser restaurada pelo mesmo processo. Observem ainda que estas velas japonesas são moldadas e são mais cónicas que as velas moldadas deste lado do mundo.

No nosso último encontro dei-vos muitas informações sobre o ácido carbónico. Verificámos pelo teste da água de cal que o vapor libertado no topo de uma vela ou lamparina, se recolhido em garrafas e testado com uma solução de água de cal (cuja composição eu vos ensinei de modo a poderem prepará-la vocês mesmos), tornava opaca e esbranquiçada essa solução, obtendo-se, de facto, um material calcário semelhante ao das

conchas e dos corais, e de muitas rochas e minerais que existem na Terra. Mas ainda não vos expliquei, de uma forma clara e completa, a história química desta substância, o ácido carbónico, tal como é produzido pela vela, e tenho que retomar agora esse tema. Observámos os produtos, e a sua natureza, tal como libertados pela vela. Investigámos a água e os seus elementos constituintes, e falta-nos agora investigar a origem dos elementos do ácido carbónico fornecido pela vela.

Algumas experiências irão revelar-nos isso mesmo. Lembrem-se de que, quando uma vela tinha uma combustão deficiente, produzia fumo, mas se o fizesse de uma forma apropriada não existia fumo. E que o brilho de uma vela se deve à existência do fumo, que entra em ignição. Eis uma experiência que o demonstra: enquanto o fumo se mantém na vela e se encontra em ignição, a vela produz uma luz brilhante e esse fumo nunca aparece na forma de partículas negras. Vou agora acender um tipo de combustível que arde de um modo extravagante. Isto serve os nossos propósitos: um pouco de terebintina numa esponja. Observem o fumo que se liberta, flutuando no ar em grande quantidade, e lembrem-se que o ácido carbónico que obtemos da vela provém de um fumo como este. Para que isso se torne evidente para vós, vou introduzir esta esponja com terebintina a arder num frasco cheio de oxigénio, a parte mais rica da atmosfera, e vejam como o fumo é totalmente consumido. Esta é a primeira parte da nossa experiência, e, agora, o que se segue? O carbono que vocês vêem voar da chama da terebintina no ar é agora inteiramente consumido na presença de oxigénio e iremos verificar, com esta experiência grosseira e provisória, que os resultados e as conclusões a que chegamos são exactamente os mesmos que obtivemos com a combustão da vela. A razão pela qual realizei a experiência deste modo foi que eu queria que esta demonstração fosse simples, de modo a que vocês nunca perdessem o encadeamento do raciocínio, desde que estivessem suficientemente atentos. Todo o carbono que entra em combustão em contacto com o oxigénio origina ácido carbónico, enquanto que estas partículas que não arderam nos evidenciam o segundo elemento do ácido carbónico – o carbono –, este elemento que torna a chama tão brilhante enquanto existe suficiente ar, mas que é eliminado em grande quantidade quando não existe oxigénio suficiente para o queimar.

Devo agora explicar-vos com maior detalhe a história do carbono e do oxigénio, e da sua união para formar ácido carbónico. Agora estão mais capazes de a entenderem, e eu preparei três ou quatro experiências que a ilustram. Tenho aqui um frasco cheio de oxigénio e aqui algum carbono que coloquei numa cápsula, para que possa aquecer até se tornar rubro. Mantenho o frasco seco, arriscando-me a produzir resultados um pouco imperfeitos, mas tornando a experiência mais brilhante. Vou agora colocar o oxigénio e o carbono em contacto. Isto é o carbono (carvão comum pulverizado), como vão verificar pelo modo como arde no ar [deixando algum do carvão já rubro cair da cápsula]. Vou agora queimá-lo na presença de oxigénio e observar as diferenças. Parece-vos, visto dessa distância, que arde com uma chama, mas isso não é verdade. Cada pequena partícula de carbono arde com uma faísca, e ardendo dessa maneira produz ácido carbónico. Eu pretendo especialmente, com estas duas ou três experiências, realçar, uma e outra vez, o facto de que o carbono arde deste modo, e não com uma chama.

Em vez de utilizar muitas partículas de carbono e de as pôr a arder, vou utilizar um grande pedaço, que vos permitirá observar a forma e o tamanho e seguir o seu efeito de uma forma incontestável. Tenho aqui um frasco de oxigénio, e aqui um pedaço de carvão ao qual fixei uma pequena peça de madeira para que possa pô-lo a arder, fazendo-o entrar em combustão – sem a madeira não o conseguiria de forma conveniente. Observem o carvão a arder, não arde como uma chama (ou se fosse uma chama seria muito pequena, e sei o que a provocaria: a formação de um pouco de óxido de carbono muito próximo da superfície do carbono).<sup>68</sup> Continua a arder, como estão a ver, produzindo lentamente ácido carbónico pela união deste carbono ou carvão (são termos equivalentes) com o oxigénio. Tenho aqui outro pedaço de carvão, um pedaço de casca de árvore, que tem a propriedade de explodir em pedaços quando arde. Por efeito do calor, deveremos diminuir o pedaço de carbono, transformando-o em pequenas

---

<sup>68</sup> Faraday refere-se provavelmente ao monóxido de carbono. No entanto, para além do dióxido de carbono e do monóxido de carbono, seriam já conhecidas, na época, outras formas menos comuns de óxidos de carbono. (NT)

partículas que voarão; cada partícula, tal como todo o pedaço de carvão, queimará desta forma peculiar: como uma brasa e não como uma chama. Não conheço nenhuma experiência mais adequada para vos mostrar que o carbono arde como uma brasa.

Aqui tenho o ácido carbônico formado pelos seus elementos. Foi produzido como um todo e, se o examinarmos com auxílio de água de cal, vamos ver que é exactamente a mesma substância que eu vos descrevi anteriormente. Colocando 6 partes em peso de carbono (provenha o carbono da vela ou do carvão pulverizado) e 16 partes em peso de oxigênio, obtemos 22 partes de ácido carbônico, que se combinam com 28 partes de cal para formar o vulgar carbonato de cálcio. Se analisarem a concha de uma ostra e pesarem os seus componentes, verificarão que em cada 50 partes existem 6 de carbono e 16 de oxigênio combinadas com 28 partes de cal. No entanto, eu não vos quero perturbar com estas minudências, é sobre a natureza geral da matéria que eu quero continuar a debruçar-me. Vejam como o carbono se dissolve de uma forma tão perfeita [apontando para o pedaço de carvão ardendo suavemente na garrafa de oxigênio]. Podem dizer-me que o carvão também se dissolve no ar que o rodeia e, na realidade, caso se trate de carvão puro, que podemos facilmente preparar, dele não restarão no final quaisquer resíduos. Quando limpamos e purificamos de uma forma perfeita um bocado de carvão, não restarão cinzas. O carvão arde como um corpo sólido denso que, quando se aquece sozinho, não altera o seu estado sólido e desaparece originando um vapor que nunca condensa, em condições normais, produzindo sólidos ou líquidos; e o que é mais curioso é que o oxigênio não altera o seu volume pela dissolução do carbono nele. O volume que tínhamos antes é o que vamos ter depois, apenas contém ácido carbônico.

Há ainda outra experiência que eu quero realizar antes de vocês estarem completamente familiarizados com a natureza geral do ácido carbônico. Tratando-se de um corpo composto, consistindo em carbono e oxigênio, o ácido carbônico é um corpo passível de ser separado. E sim, podemos decompô-lo. Tal como o fizemos com a água, vamos fazer com o ácido carbônico – obter as suas partes separadamente. A forma mais rápida e mais fácil de o conseguirmos é fazendo-o reagir com uma substância que

atraia dele o oxigénio, e que deixe ficar o carbono. Recordam-se, quando eu coloquei potássio sobre água ou gelo, de terem verificado que o potássio conseguiu separar o oxigénio do hidrogénio. Agora imaginem qualquer coisa de semelhante aqui para o ácido carbónico. Sabem que o ácido carbónico é um gás pesado. Não o vou testar com água de cal porque isso iria influir nas experiências subsequentes, mas penso que o peso do gás e o facto de fazer extinguir as chamas serão suficientes para os nossos propósitos. Introduzo uma chama no gás e vejam como ela se apaga. A combustão extingue-se. Na verdade este gás é até capaz de apagar o fósforo que, como sabem, produz uma combustão bastante forte. Tenho aqui um pedaço de fósforo muito aquecido. Introduzo-o no gás e vejam que a luz desaparece, mas que de novo se verá fogo se posto ao ar, porque recomeça a combustão. Deixem-me agora pegar num pedaço de potássio, uma substância que mesmo a temperaturas comuns pode agir sobre o ácido carbónico, embora não suficientemente com vista aos nossos objectivos, porque rapidamente se reveste de uma camada protectora; mas, se o aquecermos até ao ponto de ignição no ar, como nos é permitido fazer, e tal como fizemos com o fósforo, verão que pode arder no ácido carbónico e que ardendo retira oxigénio, de modo que iremos ver o que deixa para trás. Vou então queimar este potássio no ácido carbónico, como prova da existência de oxigénio no ácido carbónico. [No processo preliminar de aquecimento o potássio explodiu.] Às vezes sai-nos um bocado estranho de potássio que explode, ou qualquer coisa do género, quando arde. Vou pegar noutra bocada de potássio e, agora que o aqueci, vou introduzi-lo no frasco e vejam que ele arde no ácido carbónico – não tão bem como no ar, porque o ácido carbónico tem o oxigénio combinado, mas arde levando com ele o oxigénio. Se eu agora colocar o potássio em água, verifico que, para além da potassa formada (com a qual não se devem preocupar), é produzida também uma quantidade de carbono. Realizei a experiência de uma forma algo grosseira, mas asseguro-vos que, se vocês a realizarem muito cuidadosamente, dedicando-lhe um dia em vez de dez minutos, obterão a quantidade correcta de carvão na colher, ou no local onde o potássio foi queimado, de modo a não poderem duvidar do resultado. Aqui temos então o carbono obtido do ácido carbónico, como uma substância preta vulgar, e assim vocês têm agora

a prova de que o ácido carbónico é constituído por carbono e oxigénio. E posso agora dizer-vos que, sempre que o carbono arde em condições normais, produz ácido carbónico.

Suponham que eu pego nesta peça de madeira e a coloco numa garrafa com água de cal. Posso agitar esta água de cal com a madeira em contacto com a atmosfera enquanto me apetecer, e a água manter-se-á límpida; mas suponham que queimei o pedaço de madeira no ar desta garrafa. Sabem bem que irei obter água. Obterei também ácido carbónico? [A experiência foi realizada.] Aqui têm o carbonato de cálcio, que resultou do ácido carbónico, e o ácido carbónico deve ter resultado do carvão produzido pela madeira, pela vela ou por qualquer outra coisa. Na verdade, vocês já realizaram muitas vezes uma experiência muito simples pela qual podem observar o carbono da madeira. Se pegarem num pedaço de madeira, o queimarem parcialmente e depois o soprarem, o que fica é carbono. Há coisas que não mostram deste modo o carbono. Uma vela não o mostra, mas contém carbono. Temos aqui um frasco cheio de gás de carvão, que produz ácido carbónico em abundância; vocês não o vêem, mas eu vou mostrar-vos o carbono em poucos minutos. Vou acender isto e, enquanto houver algum gás, permanecerá a arder. Não observam nenhum carbono, mas vêem uma chama e, porque é brilhante, isso leva-vos a imaginarem que deve existir carbono na chama. Mas vou demonstrar-vos isso mesmo por outro processo. Tenho algum do mesmo gás noutra recipiente, misturado com um corpo que irá fazer arder o hidrogénio do gás, mas não queimará o carbono. Vou acendê-lo com um pavio a arder e vão-se aperceber de que o hidrogénio é consumido, mas não o carbono, que permanecerá na forma de um denso fumo preto. Espero que com estas três ou quatro experiências tenham aprendido a ver quando é que o carbono está presente e a perceber quais são os produtos da combustão quando um gás, ou outros corpos, são queimados adequadamente no ar.

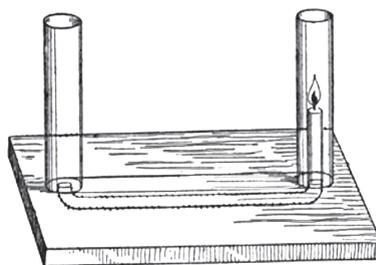
Antes de abandonarmos o tema do carbono, vamos realizar algumas experiências e tirar algumas notas sobre as suas maravilhosas características no que respeita à combustão. Já vos demonstrei que o carbono ao arder fá-lo como um corpo sólido e perceberam que, quando acaba a combustão, deixa de ser sólido. Há muito poucos combustíveis como este. De facto, só assim se comporta a grande fonte de calor que é a série carbonífera: os carvões

vegetais, os carvões minerais e a madeira. Não conheço mais nenhuma substância elementar, senão o carbono, que queime nestas condições e, se assim não fosse, o que é que seria feito de nós? Suponham que todos os combustíveis se comportavam como o ferro que, quando em combustão, se transforma numa substância sólida. Não poderiam ter uma combustão como aquela que utilizam nas lareiras. Aqui temos outro tipo de combustível que queima tão bem, ou melhor, que o carbono – tão bem que pode pegar fogo a si próprio quando está ao ar, tal como podem observar [quebrando um tubo cheio de chumbo piróforo (nota 18)]. Esta substância é chumbo e verão como é um maravilhoso combustível. Está finamente dividido e comporta-se como um monte de brasas na lareira; o ar consegue alcançar a sua superfície e o seu interior, e por isso arde. Mas porque é que não arde desta maneira quando se encontra amontado? [Esvaziando o tubo num monte sobre um prato de ferro.] Simplesmente porque o ar não consegue lá entrar. Embora consiga produzir muito calor, o calor de que necessitamos nos nossos fornos e fogões, esse calor não se liberta da porção que permanece intacta por baixo, pois essa porção de material fica impedida de entrar em contacto com a atmosfera e não pode ser consumida. Como é diferente do carbono! O carbono arde exactamente da mesma forma que este chumbo, e oferece-nos um fogo intenso num forno, ou onde o quisermos queimar; mas o corpo produzido pela sua combustão escapa-se e o restante carbono permanece sem obstáculos à sua combustão. Já vos mostrei que o carbono se dissolve no oxigénio, não deixando cinzas, enquanto que aqui [apontando o monte de piróforo] temos efectivamente mais cinzas que combustível, porque se tornou mais pesado pela quantidade de oxigénio que com ele se uniu. Assim vêem a diferença entre o carvão e o chumbo ou o ferro: poderíamos ter escolhido o ferro, que também origina resultados fantásticos na sua aplicação como combustível, tanto na forma de luz como de calor. Se, quando o carbono queimasse, o produto da combustão se libertasse como um corpo sólido, teríamos a sala cheia de uma substância opaca, como no caso do fósforo, mas quando o carbono arde tudo passa para a atmosfera. Encontra-se numa forma fixa e imutável antes da combustão, mas após a combustão transforma-se num gás, que só com grande dificuldade (mas nós conseguimos) é produzido no estado sólido ou líquido.

Vamos agora passar a uma parte muito interessante do nosso tema – a relação entre a combustão de uma vela e essa espécie de combustão viva que ocorre dentro de nós. Em cada um de nós ocorre um processo biológico de combustão muito similar ao da vela, e eu vou tentar transmitir-vos isso mesmo de uma forma simples. Porque não é só verdadeira em sentido poético a analogia da vida humana com um pavio; se me seguirem, penso que conseguirei tornar isso claro. De forma a colocar essa relação de uma forma simples, lembrei-me desta montagem que construirei aqui mesmo.

Tenho aqui uma placa onde abri um sulco e posso fechar a parte de cima desse sulco com uma pequena cobertura; posso depois converter esse sulco num canal introduzindo-lhe um tubo de vidro em cada extremo, fazendo uma passagem através de todo ele. Suponham que eu pego num pavio ou numa vela (podemos agora usar o termo “vela” de uma forma “pouco convencional” porque já sabemos o que

significa para nós) e o coloco num dos tubos; continuará a arder muito bem. Vejam que o ar que alimenta a vela passa por baixo do tubo numa das extremidades, depois segue ao longo do tubo horizontal e sobe para o tubo na outra ponta, no qual está colocado o pavio. Se eu fechar a abertura por



*Fig. 32*

onde entra o ar, paro a combustão, como vocês compreendem. Se eu interromper o fornecimento de ar, a vela apaga-se. Mas que pensam deste facto? Numa anterior experiência, mostrei-vos o ar a passar de uma vela a arder para uma segunda vela a arder. Se eu retirar o ar de outra vela e o enviar, seguindo um esquema complicado, para este tubo, devo conseguir apagar esta vela. Mas que diriam vocês se eu vos dissesse que a minha respiração seria capaz de apagar esta vela? Não digo soprando, mas simplesmente usando a minha respiração natural, de modo que a vela não pudesse nela arder. Vou colocar a minha boca nesta abertura e, sem soprar a vela de nenhum modo, deixar entrar no tubo o ar que sai da minha boca. Vejam o resultado. Eu não soprei para apagar a vela. Apenas deixei que o ar expi-

rado entrasse na abertura e o resultado foi que a luz se apagou por falta de oxigénio, e não por qualquer outra razão. Alguma coisa, por exemplo os meus pulmões, retiraram o oxigénio do ar fazendo com que deixasse de estar disponível para alimentar a combustão da vela. Penso que é muito interessante verificar o tempo que leva o mau ar que eu expiro neste lado do dispositivo a chegar à vela. A vela começa por arder mas, logo que o ar tem tempo para lá chegar, apaga-se.

E vou agora mostrar-vos outra experiência, porque este é um assunto muito importante para a nossa filosofia. Aqui temos uma garrafa que contém ar fresco, como podem verificar pelo facto de a vela ou a chama do gás continuarem a arder. Vou chegá-la para mim por um bocado de tempo e, usando um tubo, vou colocar a minha boca sobre a garrafa de modo a inalar o ar. Colocando a garrafa debaixo de água, deste modo, sou capaz de retirar o ar (supondo que a rolha está bem apertada), de o fazer entrar nos meus pulmões e de o devolver à garrafa de



*Fig. 33*

modo a podermos examiná-lo e tirar conclusões. Observem, retiro o ar e depois devolvo-o à garrafa, como é evidente pela subida e descida da água, e, agora, colocando um pavio a arder no ar, vão verificar o estado em que ele fica, com a chama a extinguir-se. Apenas uma inspiração, viram, foi capaz de sujar completamente este ar, de modo que não me serve para nada tentar respirar para lá de novo. Agora devem perceber até que ponto o ar é impróprio nas casas das classes pobres, com o mesmo ar a ser expirado uma e outra vez, sem existir ar novo vindo de uma ventilação adequada.

Viram como apenas uma respiração faz com que o ar se torne tão mau e facilmente percebem a importância que tem para nós o ar fresco.

Para levarmos este assunto um pouco mais longe, vejamos o que acontece com a água de cal. Tenho aqui uma ampola, contendo um pouco de água de cal, e que está feita de tal maneira que estes tubos nos dão acesso ao ar que existe lá dentro, de modo a podermos avaliar qual o efeito do ar inspirado ou expirado na ampola.

Claro que eu posso fazer entrar ar (através de A) e fazer com que o ar que alimenta os meus pulmões passe pela água de cal, ou posso forçar o ar que sai dos meus pulmões a passar através do tubo (B) que entra por baixo, e que vai exercer o seu efeito na água de cal. Irão observar que,

enquanto eu me mantiver a fazer entrar ar na água de cal que depois passa pelos meus pulmões, não produzirei nenhum efeito na água de cal, não fará a água de cal ficar turva; mas, se eu libertar o ar dos meus pulmões através da água de cal vezes sucessivas, vejam como a água fica branca e leitosa, evidenciando o efeito que o ar

expirado tem nela; e agora começam a perceber que a atmosfera que nós sujámos com a nossa respiração está na verdade suja com ácido carbónico, como viram aqui por contacto com a água de cal.

Tenho aqui duas garrafas, uma contendo água de cal e a outra contendo água comum, e tubos que passam através das garrafas, ligando-as. O esquema é muito simples, mas é eficaz apesar disso.

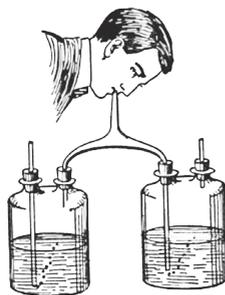
Se eu pegar nestas duas garrafas, inalando aqui e exalando ali, a disposição dos tubos impedirá que o gás retroceda. O ar que entra irá para a minha boca e pulmões e, quando sair, passará pela água de cal, de modo que eu posso continuar a respirar, refinar as condições da experiência e chegar

a óptimas conclusões. Podem verificar que o bom ar não alterou a água de cal; no outro caso nada tinha chegado à água de cal a não ser a minha respiração, e vocês vêem a diferença entre estes dois casos.

Vamos avançar um pouco. Que processo é este que ocorre dentro de nós e sem o qual não poderíamos viver, de noite ou de dia, que nos foi oferecido pelo Autor de todas as coisas e que Ele fez com que se tornasse independente da nossa vontade? Se sustivermos a nossa respiração, o que podemos fazer durante algum tempo, destruir-nos-emos. Quando dormimos,



*Fig. 34*



*Fig. 35*

os órgãos do sistema respiratório, e os que lhe estão associados, continuam em acção, tão crucial é para nós este processo da respiração, este contacto do ar com os pulmões. Devo falar-vos, o mais brevemente possível, sobre este processo. Consumimos alimentos, os alimentos seguem por esse estranho sistema de vasos e órgãos que existe dentro de nós, sendo levados a várias partes do nosso corpo, especialmente à parte digestiva e, alternativamente, a porção mais alterada é carregada até aos nossos pulmões por um sistema de vasos, enquanto o ar que inalamos e exalamos entra e sai dos nossos pulmões utilizando outro conjunto de vasos, de tal forma que o ar e os alimentos se encontram muito próximos, apenas separados por uma superfície extremamente fina; o ar apenas pode agir no sangue através deste processo, produzindo resultados do mesmo género dos que observámos na vela.<sup>69</sup> A vela combina-se com algumas partes do ar, formando ácido carbónico e libertando calor, e é nos pulmões que ocorre também esta maravilhosa alteração. O ar que entra combina-se com o carbono (não com o carbono no seu estado livre, mas disponível para reagir no momento) e produz ácido carbónico, que assim é libertado na atmosfera; e se é este o seu resultado tão singular, temos então que olhar para os alimentos como sendo o combustível. Deixem-me pegar num pedacinho de açúcar, que servirá os meus objectivos. É um composto de carbono, hidrogénio e oxigénio, similar à vela, contendo os mesmos elementos, embora não na mesma proporção – as proporções encontram-se nesta tabela:

Açúcar	
Carbono .....	72
Hidrogénio .....	11
Oxigénio .....	88
	} 99

---

<sup>69</sup> No tempo de Faraday, não eram conhecidos os detalhes dos processos de respiração celular nem do mecanismo de transporte do oxigénio pela hemoglobina no sangue. Assim, devem ler-se estas explicações de Faraday no seu contexto histórico, como uma simplificação da complexidade dos processos vivos, cujo objectivo é estabelecer a analogia entre a respiração e a combustão. (NT)

É de facto muito curioso, porque vocês podem verificar que o oxigénio e o hidrogénio se encontram exactamente nas mesmas proporções com que formam a água e por isso podemos dizer que o açúcar é composto de 72 partes de carbono e de 99 partes de água; e é o carbono no açúcar que se combina com o oxigénio transportado pelo ar no processo da respiração – fazendo-nos semelhantes às velas –, produzindo estas acções calor e outros maravilhosos resultados que sustentam o nosso corpo desta forma tão simples e bela. Para tornar isto ainda mais fantástico, vou usar um bocadinho de açúcar ou, para a experiência ser mais rápida, vou usar xarope, que contém três quartos de açúcar e um pouco de água. Se eu colocar sobre o xarope um pouco de óleo de vitríolo,<sup>70</sup> este eliminará a água e deixará uma massa negra de carbono [o conferencista mistura as duas substâncias]. Vejam como se forma carbono e rapidamente teremos uma massa sólida de carvão que resultou totalmente do açúcar. O açúcar, como sabem, é um alimento, e aqui obtivemos um pedaço sólido de carbono que vocês não esperariam obter. E, se eu tivesse planeado as coisas de modo a ter oxidado o carbono do açúcar, o resultado seria ainda mais espectacular. Tenho aqui açúcar e aqui um oxidante mais rápido do que a atmosfera, e vamos oxidar este combustível por um processo diferente da respiração, na forma mas não na espécie. É a combustão do carbono por contacto com o oxigénio que o corpo lhe forneceu. Se eu puser isto a funcionar, vocês observarão a combustão produzida. Tal como acontece nos meus pulmões – retirando o oxigénio de outra fonte, a atmosfera –, tem lugar de um modo muito rápido.

Vão ficar muito admirados quando eu vos contar qual é a quantidade de carbono envolvida neste jogo. Uma vela pode arder quatro, cinco, seis ou sete horas. Que enorme será a quantidade diária de carbono que vai para a atmosfera na forma de ácido carbónico! Que maravilha de transformação sofre o carbono durante a respiração ou combustão! Um homem em vinte e quatro horas converte tanto como sete *onças* de carbono em ácido carbónico; uma vaca leiteira converte setenta *onças* e um cavalo setenta e nove *onças*, só através da respiração. O que significa que um cavalo, em vinte e quatro horas, queima setenta e nove *onças* de carvão ou de

---

<sup>70</sup> O óleo de vitríolo corresponde ao ácido sulfúrico. (NT)

carbono nos seus órgãos de respiração para fornecer o seu calor natural no mesmo período de tempo. Todos os animais de sangue quente obtêm o seu calor deste modo, por conversão do carbono, não no seu estado livre, mas combinado. E que extraordinária noção isto nos dá das alterações que ocorrem na atmosfera! Tanto como 5.000.000 libras ou 548 toneladas de ácido carbónico são formadas através da respiração somente em Londres em vinte e quatro horas. E para onde é que vai tudo isto? Sobes para o ar. Se o carbono fosse como o chumbo que eu vos mostrei, ou como o ferro, que quando arde produz uma substância sólida, o que é que aconteceria? A combustão não poderia prosseguir. Como o carvão, quando arde, se transforma em vapor e passa para o ar, que é um excelente veículo, um fantástico transportador para o levar para outros locais. E depois o que lhe acontece? É maravilhoso pensar que esta alteração produzida pela respiração, e que parece que nos é prejudicial (porque não podemos respirar o mesmo ar duas vezes), é a vida e o suporte das plantas e vegetais que crescem à superfície da terra. O mesmo acontece debaixo da superfície da terra, nos grandes lençóis de água: os peixes e outros animais respiram segundo o mesmo princípio, embora não exactamente pelo contacto com a atmosfera.

Esses peixes, como os que tenho aqui [apontando para um aquário de peixes dourados], respiram o oxigénio que se encontra dissolvido na água e produzem ácido carbónico; todos eles trabalham de modo a tornarem o reino animal e o reino vegetal dependentes um do outro. E todas as plantas que crescem à superfície da terra, tal como estas que vos trago como exemplo, absorvem carbono; estas folhas obtêm o seu carbono da atmosfera à qual o fornecemos na forma de ácido carbónico, e as plantas crescem e prosperam. Dêem-lhes um ar puro como o nosso e elas não conseguirão viver nele; dêem-lhes carbono com outras matérias e elas vivem e rejubilam.<sup>71</sup> Este pedaço de madeira captou todo o seu carbono, tal como as

---

<sup>71</sup> Trata-se também de uma simplificação. De facto, o ar *fresco* contém uma pequena quantidade de dióxido de carbono (cerca de 0.03%), a qual é suficiente para que as plantas prosperem. Actualmente a percentagem de dióxido de carbono tem subido na atmosfera, o que tem sido associado ao denominado *aumento do efeito de estufa*, mas, no que concerne às plantas, também a um ligeiro aumento dos seus ritmos de desenvolvimento. (NT)

árvores e as plantas, da atmosfera que, como vimos, transporta para longe de nós o que é mau para nós e ao mesmo tempo bom para eles – o que é doença para uns é saúde para outros. E por isso somos dependentes, não só das criaturas como nós, mas de todos os seres vivos, a Natureza reunida pelas leis que fazem com que uma parte se conduza para o bem da outra.

Há ainda um pequeno ponto que eu gostava de focar antes de terminarmos estas lições, um ponto que respeita a todas estas operações: ainda mais curioso e belo é verificar a sua associação às substâncias que nos interessam – o oxigénio, o hidrogénio e o carbono nos diferentes estados da sua existência. Mostrei-vos já algum chumbo pulverizado, que coloquei a arder (nota 18); e verificaram que, logo que o combustível entra em contacto com o ar, entra em acção, mesmo antes de sair da garrafa – logo que o ar consegue penetrar nele, entra em acção. Estamos em presença de um caso de afinidade química pelo qual todas as actividades ocorrem. Quando respiramos, as mesmas operações acontecem dentro de nós. Quando queimamos uma vela, ocorre atracção entre as diferentes partes. O mesmo está aqui a acontecer com o chumbo, e é um belo exemplo de afinidade química. Se os produtos da combustão abandonarem a superfície, o chumbo entrará em combustão e arderá até ao fim; mas, como se recordam, existe uma diferença entre o carvão e o chumbo – enquanto que o chumbo entra em acção como um todo, se estiver em contacto com o ar, o carbono pode assim ficar durante dias, semanas, meses ou anos. Os manuscritos de Herculano<sup>72</sup> foram escritos com tinta carbonácea, e assim ficaram por 1800 anos ou mais, não se alterando de todo por contacto com a atmosfera, embora tenham contactado com ela em circunstâncias diversas. Então o que é que faz com que o chumbo e o carbono assim se comportem a este respeito? É impressionante verificar que a matéria que foi destinada a actuar como combustível *espere* pela sua acção; não comece a arder sozinha como o chumbo, ou outras substâncias que vos podia mostrar, mas com as quais não quis sobrecarregar esta mesa, mas espere pelo momento de agir. Esta

---

<sup>72</sup> *Manuscritos de Herculano* designa um conjunto de cerca de oitocentos papiros encontrados em 1753 perto da cidade romana de Herculano, que foi destruída por uma erupção vulcânica no ano 79 d. C.; alguns deles foram examinados por Humphry Davy anos mais tarde. (NT)

espera é um fenómeno curioso e belo. As velas – estas velas japonesas, por exemplo – não entram em acção de uma vez só, como o chumbo ou o ferro (porque o ferro finamente dividido comporta-se exactamente como o chumbo), mas podem aguardar anos, eras, sem sofrerem qualquer modificação. Tenho aqui um fornecimento de gás de carvão. Embora esteja a libertar gás neste jacto, vejam que ele não produz fogo, antes fica no ar e só quando está suficientemente, quente começa a arder. Se eu o aquecer suficientemente começará a arder. Se eu o expulsar daqui, o gás que vem a seguir aguardará por sua vez, até que lhe seja aplicada uma chama. É muito curioso verificar como as diferentes substâncias aguardam – e como algumas aguardarão que a temperatura suba um pouco, enquanto outras necessitam que a temperatura se eleve bastante. Tenho aqui um pouco de pólvora e aqui um pouco de nitrocelulose; mesmo estas substâncias diferem na maneira como vão arder. A pólvora é composta por carbono e outras substâncias que fazem com que seja altamente combustível; e a nitrocelulose é outro tipo de preparação combustível. Ambas esperam pela combustão, mas entrarão em actividade perante diferentes graus de aquecimento, ou sob diferentes condições. Aplicando um arame aquecido a cada uma das substâncias, vamos ver qual inicia a actividade mais rapidamente [tocando a nitrocelulose com o ferro aquecido]. Vejam que a nitrocelulose desapareceu, mas nem a porção mais quente do ferro foi suficiente para iniciar a combustão da pólvora. O que vos mostra, de uma forma muito bela, a diferente gradação com que as substâncias agem. Num caso, a substância esperará que todos os corpos associados sejam activados pelo calor, enquanto que no outro caso, e o mesmo ocorre com a respiração, não há espera. Nos pulmões, logo que o ar entra, une-se ao carbono, mesmo às mais baixas temperaturas que o corpo pode suportar antes de congelar; a acção ocorre de uma vez só, produzindo o ácido carbónico da respiração;<sup>73</sup> e assim tudo ocorre de uma forma adequada e correcta. Por isso, vêem como a analogia entre a respiração e a combustão é tão bela e impressionante.

---

<sup>73</sup> Ver nota 71 sobre a analogia entre a respiração e a combustão da vela. (NT)

Na verdade, há ainda mais uma coisa que eu queria aqui deixar antes de encerrarmos estas lições (porque nalgum momento vamos ter que chegar ao fim): queria expressar o meu desejo de que vocês, na vossa geração, possam ser comparáveis a uma vela; que possam como ela brilhar e iluminar aqueles que se encontram à vossa volta; e que todas as vossas acções possuam a beleza do pavio, tornando as vossas realizações honrosas e eficazes no cumprimento do dever para com os nossos companheiros.

## NOTAS DA EDIÇÃO ORIGINAL

1 – O Royal George afundou-se em Spitheah em 29 de Agosto de 1782 e o Coronel Pasley começou os trabalhos de remoção do navio naufragado por explosão de pólvora em Agosto de 1839. A vela que Faraday exhibe deve, por conseguinte, ter estado exposta à água salgada por mais de cinquenta e sete anos.

2 – A gordura ou sebo é uma combinação química de ácidos gordos com glicerina. A cal reage com os ácidos palmítico, oleico e esteárico e isola a glicerina. Depois de lavado, o sabão insolúvel é decomposto por acção de ácido sulfúrico quente. Os ácidos gordos liquefeitos vêm para a superfície na forma de óleo e são decantados. São então lavados e vertidos em placas finas. Quando frios, são colocados entre esteiras de fibra de coco e sujeitos a pressão intensa. Deste modo, o ácido oleico é eliminado enquanto que os ácidos palmíticos e esteáricos, mais duros, se mantêm. São de novo purificados por pressão a alta temperatura e lavados com ácido sulfúrico quente e estão então prontos para se transformarem em velas. Estes ácidos são mais duros e brancos, e simultaneamente mais limpos e com maior poder combustível, do que as gorduras que os originaram.

3 – Um pouco de bórax ou de um sal fosfórico é muitas vezes adicionado para facilitar a fusão das cinzas.

4 – A atracção ou a repulsão capilar é a causa que determina o movimento ascendente ou descendente de um fluido através de um tubo capilar. Se um pedaço de um capilar de um termómetro, aberto nas duas extremidades, for mergulhado em água, esta subirá no tubo até a uma altura superior à do nível exterior. Pelo contrário, se o tubo for mergulhado em mercúrio,

aparecerão forças de repulsão em vez de atracção e o líquido ficará no tubo a um nível inferior ao do líquido exterior.

5 – O último Duque de Sussex foi, assim o cremos, o primeiro a demonstrar que um camarão pode ser lavado segundo este princípio. Se a cauda, depois de retirada a parte do leque, for colocada num copo de água, ficando a cabeça pendurada para fora, a água será sugada pela cauda devido à atracção capilar e continuará a sair pela cabeça até que a água do copo fique tão baixa que a cauda deixe de estar imersa.

6 – O álcool tinha cloreto de cobre dissolvido, o que produz uma linda chama verde.

7 – Licopódio é um pó amarelo proveniente do “fruto” de um musgo, *Lycopodium Clavatum*. É usado no fogo-de-artifício.

8 – Bunsen<sup>74</sup> calculou esta temperatura como sendo 8061 °C. A temperatura de combustão de hidrogénio no ar é de 3259 °C e a temperatura produzida pela combustão de gás de carvão no ar é de 2350 °C.

9 – O que se segue é a acção do ácido sulfúrico inflamando a mistura de sulfureto de antimónio e de clorato de potássio. O clorato de potássio é parcialmente decomposto pelo ácido sulfúrico originando óxidos de cloro, bissulfato de potássio e perclorato de potássio. Os óxidos de cloro inflamam o sulfureto de antimónio, que é uma substância combustível, e toda a massa “explode” instantaneamente em chama.

10 – O “queimador a ar”,<sup>75</sup> muito útil no laboratório, deve as suas propriedades a este princípio. Consiste numa chaminé metálica cilíndrica coberta no cimo por uma rede larga de ferro. É colocado por cima de um queimador de Argand de modo a que o gás se possa misturar na chaminé com ar suficiente, a fim de queimar simultaneamente o carbono e o hidrogénio, sem separação do carbono na chama e conseqüente deposição de fuligem. A chama, por impossibilidade de passar na rede metálica, arde de uma forma estável e quase invisível por cima desta.

---

<sup>74</sup> Cf. KIRCHHOFF, G.; BUNSEN, R. – *Phil. Mag.* 4.ª série, 20 (1860) 89-109. Actualmente admitem-se valores significativamente mais baixo. (NT)

<sup>75</sup> *Air-burner* ou *gauze-burner* refere-se a um queimador anterior ao bico de Bunsen. (NT)

11 – A água está no seu estado mais denso a 39.1 °F [4 °C].<sup>76</sup>

12 – A mistura de sal e gelo picado reduz a temperatura de 32 °F [0 °C] para 0 °F [-18 °C] – o gelo funde ao mesmo tempo.

13 – O potássio, a base metálica da potassa, foi descoberto por Sir Humphry Davy em 1807, que o isolou da potassa usando uma bateria voltaica. A sua elevada afinidade para o oxigénio provoca a decomposição da água, libertando-se hidrogénio que se incendeia com o calor produzido.

14 – O Professor Faraday calculou que é necessária tanta electricidade para decompor um grão de água como num forte relâmpago.

15 – Uma solução de acetato de chumbo submetida à acção da corrente voltaica origina chumbo no pólo negativo e peróxido de chumbo no pólo positivo. Uma solução de nitrato de prata, nas mesmas condições, originará prata metálica no pólo negativo e peróxido de prata no pólo positivo.

16 – O gás que é empregue para testar a presença do oxigénio é o bióxido de nitrogénio, ou ácido nitroso. É um gás incolor que, em contacto com oxigénio, se liga a este, originando ácido hiponítrico, o gás vermelho referido.<sup>77</sup>

17 – O mármore é um composto de ácido carbónico e cal. O ácido muriático, sendo o mais forte dos dois, toma o lugar do ácido carbónico, que se escapa como gás, formando o resíduo muriato de cal ou cloreto de cálcio.

18 – O chumbo piróforo é obtido por aquecimento de tartarato de chumbo num tubo de vidro (fechado num extremo e afunilado no outro) até que não se libertem mais vapores. A extremidade aberta do tubo é então selada. Quando o tubo é quebrado e o seu conteúdo agitado no ar, queima com uma faísca vermelha.

---

<sup>76</sup> Graus Celsius e Fahrenheit podem ser convertidos usando a seguinte expressão  $^{\circ}\text{C} = (\text{^{\circ}\text{F}} - 32)/1,8$ . (NT)

<sup>77</sup> O gás que Faraday utiliza como teste para o oxigénio é o gás incolor, monóxido de nitrogénio, que reage rapidamente com o oxigénio originando o gás castanho (vermelho) dióxido de nitrogénio. A nota original, que mantemos por razões históricas, utiliza uma nomenclatura que reflecte uma estequiometria que hoje consideramos incorrecta dos gases envolvidos e da reacção. (NT)

Série  
Documentos

•

Imprensa da Universidade de Coimbra  
Coimbra University Press

2011

