PIER GIORGIO ALBERTAZZI *

A lezione da Faraday

Teaching Faraday

Summary – The communication presents some experiences of *The Chemical History of a Candle* that is the title of a series of lectures on the chemistry and physics of flames given by Michael Faraday at the Royal Institution. This was the origin of the Christmas lectures for young people that are still given there every year and bear his name. The lectures were first printed as a book in 1861. The spirit and timeliness of its teaching can be helpful for teachers who want to involve students and get them interested to chemistry and science. The illustrations are taken from the text translated into Italian in 1872 by the Treves editor. Experiences are presented with the same words of Faraday and concern the flame: structure and brightness; air necessary for combustion and its property; water from the combustion, nature of water, the hydrogen; oxygen the other part of water; carbonic acid and its properties; respiration and its analogy to the burning of a candle.

Key words: Faraday, chemistry, candle, teaching

Michael Faraday (1791-1867), il grande scienziato inglese dell'ottocento, famoso e conosciuto per gli innumerevoli contributi scientifici, è meno noto per le spiccate abilità divulgative e l'impegno profuso nel comunicare le conoscenze scientifiche al grande pubblico e in particolare ai giovani.

Come insegnante di chimica e formatore ho piacevolmente scoperto la trascrizione delle sue Conferenze del Venerdì Sera (*Friday Evening Discourses*) che ha iniziato a tenere nel 1826 presso la Royal Society di Londra. Esse si svolgevano durante le feste natalizie ed erano specificamente rivolte ai giovani, il suo pubblico privilegiato. Dal punto di vista didattico sono state una vera rivelazione sia per la varietà degli argomenti affrontati sia per il modo di proporli a un pubblico non specialistico.

Il metodo di Faraday è un esempio molto efficace da seguire per interessare gli studenti, dimostrato dal successo di pubblico che partecipava alle lezioni quando le

* Docente di chimica ITIS Q. Sella Biella, formatore IRiDiS (Innovazione e Ricerca in Didattica delle Scienze), Università di Torino. E-mail: pigi.albert@gmail.com

conoscenze scientifiche erano del tutto ignorate dalla maggior parte della popolazione in gran parte analfabeta.

Il testo originale, tuttora pubblicato e reperibile sia in rete che in forma cartacea, è la trascrizione delle sei conferenze tenute durante le festività natalizie nell'inverno del 1859-60 quando Faraday è ormai avanti negli anni ed è intitolato *The Chemical History of a Candle*. Esso contiene dettagliate descrizioni relative alla fabbricazione delle candele e ai materiali che le costituiscono, numerosi fenomeni collegati alla loro combustione, molti esperimenti a partire dai quali vengono affrontati concetti e interpretati fenomeni molto comuni che costituiscono il fondamento di una cultura chimica e fisica di base.

Il linguaggio usato è semplice e comprensibile ma nello stesso tempo sempre corretto dal punto di vista scientifico. Le spiegazioni di Faraday permettono la comprensione di numerosi fenomeni che accadono nella vita quotidiana. Non a caso gli argomenti scelti prendono spunto dalla candela: un oggetto comune che al tempo tutti conoscono e utilizzano.

Riprendendo le parole di Faraday «*Non c'è una legge secondo la quale sia governato una qualsiasi parte di questo universo che non entri in gioco e sia raggiunta in questi fenomeni*». E ancora «*Non c'è niente di meglio, non c'è una porta più aperta attraverso la quale potete entrare nello studio della filosofia naturale, che considerare i fenomeni fisici che avvengono in una candela*».

In Italia è stata pubblicata una traduzione dall'Istituto della Enciclopedia Italiana di Roma nel 1982 con alcune illustrazioni. Approfondendo le ricerche ho reperito la traduzione edita da E. Treves di Milano nel 1871 contenente 52 illustrazioni, alcune delle quali sono riprodotte di seguito.

In sintesi il suo metodo consiste nel modo accattivante di presentare e illustrare con esperienze spettacolari i concetti e di collegarli sempre alla realtà della quale hanno esperienza diretta i ragazzi.

La comunicazione ha lo scopo di rivelare e diffondere lo spirito didattico di Faraday presentando alcune delle esperienze da lui svolte in pubblico, utilizzando le sue stesse parole e le illustrazioni originali del testo della traduzione italiana edito da Treves nel 1871. Ritengo siano didatticamente molto efficaci poiché riguardano diversi concetti fondanti della chimica e possono essere proposte, ancora oggi, a studenti dell'ultimo anno della scuola media e del primo e secondo anno delle superiori.

Le esperienze selezionate riguardano: la luminosità della fiamma della candela; l'acqua prodotta dalla combustione, il vapore e la sua condensazione; gli stati fisici dell'acqua e i diversi volumi occupati; un componente dell'acqua: l'idrogeno; la candela *filosofica*; il riconoscimento dell'ossigeno e le sue proprietà; la pressione atmosferica e l'elasticità dell'aria; l'anidride carbonica; come "pesare" l'aria e l'anidride carbonica; la combustione e la respirazione.

Nella prima conferenza sono descritti la struttura, la mobilità e la luminosità della fiamma della candela, i diversi metodi di fabbricazione, i materiali costituenti e la loro origine.

Quelle che seguono sono le parole di Faraday che descrivono la combustione della candela.

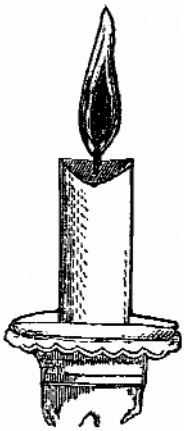

Fig. 5.

Vedete, quindi, in primo luogo, che si è formata una bella concavità. Appena l'aria arriva alla candela, si muove verso l'alto spinta dalla forza della corrente che produce il calore della candela, in modo da raffreddare tutti i lati della cera, o del sego, o del combustibile, in modo da mantenere il bordo molto più freddo della parte interna; questa viene fusa dalla fiamma che avvolge lo stoppino che brucia fino quando si è consumato, mentre la parte esterna non fonde. Se provoco una corrente d'aria in una direzione, la cavità diventa asimmetrica e il liquido di conseguenza trabocca, a causa della stessa forza di gravità che tiene insieme i mondi, questo liquido assume una posizione orizzontale e, se la cavità non fosse orizzontale, il liquido uscirebbe attraverso il solco. La concavità è la conseguenza di questa corrente d'aria ascendente e uniforme che agisce su tutti i lati e che mantiene freddo l'esterno della candela. Nessun combustibile potrebbe servire per fare una candela se non avesse la proprietà di formare questa concavità, tranne il combustibile come il legno di torba irlandese, in cui il materiale stesso è simile a una spugna e pertanto in grado di contenere il proprio combustibile (Fig. 5).

Si può notare la precisione e l'accuratezza della descrizione, una capacità che dovrebbe essere insegnata agli studenti e che è molto importante quando si esamina scientificamente un fenomeno.

Ora parliamo della forma della fiamma. È molto interessante per conoscere ciò che accade al materiale di cui è fatta la candela nella parte superiore dello stoppino, nella quale vedete una bellezza e una luminosità che niente come la combustione o la fiamma possono produrre. Conoscete la brillante bellezza dell'oro e dell'argento, e la lucentezza di gioielli come il rubino e il diamante; ma nessun di questi rivaleggiano con la brillantezza e la bellezza della fiamma. Quale diamante può brillare come una fiamma? Esso deve il suo splendore di notte alla stessa fiamma brillando sopra di essa. La fiamma brilla nel buio e la luce che ha il diamante non è niente finché la fiamma non lo illumina sopra di esso, quando brilla di nuovo. La candela brilla di per se stessa e per se stessa, o per chi ha messo insieme i materiali.

Fig. 8.

Ora osserviamo un momento la forma della fiamma come la vedete al riparo del vetro.

È costante e uguale, la sua forma è quella rappresentata nella figura, varia con le perturbazioni atmosferiche e secondo il formato della candela (Fig. 8).

È un ovale luminoso, più grande nella parte superiore che nella parte inferiore, con lo stoppino in mezzo e, vicino allo stoppino nel centro, vi sono zone più scure centrali e verso la parte inferiore, nelle quali la combustione non è così perfetta come

Fig. 9.

nella parte superiore. Ho qui un'illustrazione (Fig. 9), abbozzata molti anni fa da Hooker, quando svolse le sue ricerche.È l'illustrazione della fiamma di una lampada, ma si può applicare anche alla fiamma di una candela.

La concavità della candela è il vaso o la lampada; lo spermaceti fuso è l'olio, lo stoppino è comune a entrambi. In base a quanto mostra questa piccola fiamma, che quindi rappresenta ciò che è reale, una certa quantità di materia risale in modo impercettibile e della quale, se non siete stati qui prima, o non avete conoscenza del fenomeno, voi non sapete nulla al riguardo. Qui ha disegnato le parti dell'atmosfera circostante che sono molto importanti per la fiamma e sono sempre presenti. C'è la formazione di una corrente che fa espandere la fiamma, quella che vedete nella realtà fatta emergere dalla corrente e disegnata sopra piuttosto in alto, proprio come Hooker ha disegnato nello schema con un prolungamento della corrente.

A questo punto Faraday propone un semplice esperimento che ciascun spettatore può eseguire a casa propria:

Lo potete vedere prendendo una candela accesa e mettendola al sole in modo da proiettare la sua ombra su un foglio di carta. È sorprendente notare che una cosa abbastanza chiara produce delle ombre come gli altri oggetti, è in grado di proiettare la propria ombra su una pezzo di carta bianca, di modo che potete realmente vedere fluire intorno alla fiamma qualcosa che non è parte della fiamma, ma è ascendente e trascina la fiamma verso l'alto.

Ora imiterò la luce solare collegando la batteria voltaica alla lampada elettrica. Vedete il nostro sole e la sua grande luminosità; disponendo una candela fra esso e lo schermo, otteniamo l'ombra della fiamma. Osservate l'ombra della candela e dello stoppino; notate che vi è una parte scura, come è rappresentato nel disegno, e quindi una parte più distinta. Abbastanza stranamente, tuttavia, quello che vediamo nell'ombra come parte più scura della fiamma è, in realtà, la parte più luminosa; qui vedete il flusso continuo verso l'alto della corrente ascendente d'aria calda, come indicato da Hooker, che fa espandere la fiamma, la rifornisce di aria e raffredda i bordi della concavità del combustibile fuso.

Una delle caratteristiche didattiche delle lezioni di Faraday è quella di proporre esperimenti facili da eseguire, che non necessitano di particolari apparecchiature. Sovente lo scienziato invita i presenti a ripetere gli esperimenti a casa propria e fornisce dettagliate istruzioni per eseguirli e suggerimenti per altri che per esigenze di tempo non può eseguire al momento.

Nella seconda conferenza viene descritta nei dettagli la fiamma, i gas che si sviluppano durante la combustione e i diversi tipi di combustione; viene poi messo in evidenza il ruolo dell'aria nella combustione e la produzione di acqua. Vengono svolti esperimenti sulla distribuzione del calore all'interno della fiamma, sulla combustione all'interno di una campana di vetro e sul ruolo che hanno i residui carboniosi presenti nella fiamma nel determinare la sua luminosità.

La seconda lezione termina presentando la produzione di acqua che avviene con la combustione seguita dal suggerimento ai presenti di eseguire un esperimento a casa propria:

Ora prendo un'altra candela e la dispongo sotto un recipiente di vetro a forma di campana, poi metto una luce dall'altro lato, giusto per mostrarvi che cosa stia accadendo. Vedete che le pareti del recipiente diventano opache e la luce comincia a indebolirsi. Sono i prodotti che rendono la luce così fioca e questa è la stessa cosa che rende così opache le pareti del recipiente. Se andate a casa e prendete un cucchiaio che è stato esposto all'aria fredda e lo tenete sopra una candela, senza farlo coprire di fuliggine, vedrete che essa diventa fioca come nel recipiente. Se potete disporre di un piatto d'argento, o qualcosa del genere, eseguirete l'esperimento ancora meglio; e ora, per farvi riflettere sul tema del prossimo incontro, posso dirvi che è l'acqua a provocare l'opacità e quando ci rivedremo vi mostrerò che possiamo, senza difficoltà, farle assumere lo stato di un liquido.

Gli argomenti della terza conferenza riguardano ancora l'acqua prodotta dalla combustione, la natura dell'acqua, i confronti fra i diversi volumi dell'acqua, del ghiaccio e del vapore, le proprietà del gas idrogeno.

La formazione di acqua durante la combustione stupisce non poco il pubblico: tutti sanno che l'acqua spengne le fiamme. Faraday inizia la lezione così:

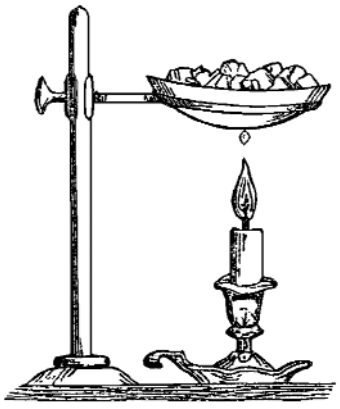

Fig. 20.

Avendo in precedenza organizzato un esperimento allo scopo di condensare l'acqua dai prodotti della candela, il mio prossimo obiettivo sarà quello di mostrarvi questa acqua; forse uno dei mezzi migliori fra i tanti che posso sfruttare subito per mostrare la sua presenza a così tante persone insieme, è quello di fare una dimostrazione dell'acqua che sia molto visibile e poi utilizzare la prova per vedere cosa si è raccolto in forma di gocce nella parte inferiore di questo recipiente.Ora vado a togliere la candela che sta bruciando sotto il recipiente che contiene ghiaccio e sale e vedete una goccia d'acqua, un prodotto della candela che si è condensato, appesa sotto la superficie del piatto (Fig. 20). Vi mostrerò che il potassio ha la stessa azione su di essa e sull'acqua contenuta nel piatto dell'esperimento che abbiamo appena eseguito. Guardate! Si incendia e brucia proprio nello stesso modo.

Faraday prosegue:

Dunque l'acqua è stata prodotta dalla candela. Nello stesso modo, se metto questa lampada ad alcool sotto quel recipiente, presto lo vedrete diventare umido per la rugiada che si deposita su di esso, rugiada che è il risultato della combustione; non ho dubbi che vedrete subito, dalle gocce di acqua che cadono sulla carta qui sotto, che ne viene prodotta molta dalla combustione della lampada (Fig. 21).

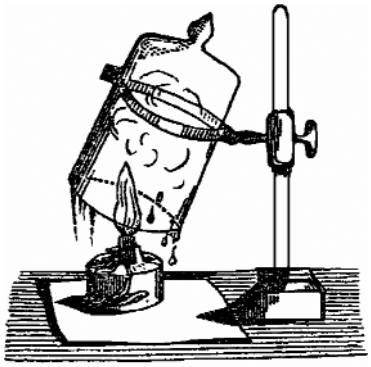

Fig. 21.

La lascerò lì e potrete vedere in seguito quanta acqua è stata raccolta. Potete fare questi esperimenti voi stessi. L'estremità di un attizzatoio va molto bene per provare, e se rimane fredda abbastanza a lungo sopra la candela, potete ottenere su di esso l'acqua condensata in gocce; può essere usata qualsiasi altra cosa come un cucchiaio, o un mestolo, o qualunque cosa, purché sia pulita e possa trasferire all'esterno il calore in modo da fare condensare l'acqua.

Sulla natura dell'acqua e le sue proprietà Faraday si soffermerà a lungo, praticamente vi dedica tutta la terza lezione.

Ora, per entrare nella storia di questa meravigliosa produzione di acqua dai combustibili e dalla combustione, devo prima di tutto dirvi che questa acqua può esistere in diverse condizioni; anche se voi siete già a conoscenza di tutte queste forme, dobbiamo per adesso prestare loro ancora un po' di attenzione, cosicché potete percepire come l'acqua, mentre passa attraverso i suoi svariati cambiamenti, è completamente e assolutamente la stessa cosa, sia che venga prodotta da una candela, da una combustione, o dai fiumi o dall'oceano.

In primo luogo l'acqua, quando è alla temperatura più fredda, è ghiaccio. Ora noi come filosofi – spero di potervi classificare insieme a me in questo caso – parliamo di acqua come acqua, sia che essa si trovi allo stato solido, liquido, o gassoso – parliamo chimicamente di essa come acqua. Il ghiaccio può ridiventare acqua – nel nostro ultimo Sabbath abbiamo avuto un notevole caso di questo cambiamento nel disastro accaduto nella nostra casa, come pure nelle case di molti nostri amici – il ghiaccio ritorna acqua quando la temperatura aumenta; l'acqua inoltre cambia in vapore quando è abbastanza riscaldata.

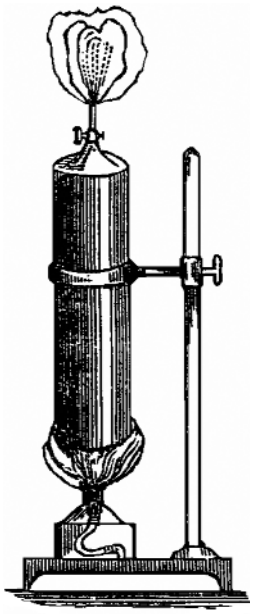

Fig. 22.

Quando l'acqua sottoposta a riscaldamento si trasforma in vapore il suo volume aumenta considerevolmente:

Torniamo ora all'azione del calore sull'acqua. Vedete che getto di vapore sta uscendo da questo recipiente metallico! Osservate, noi dobbiamo riempirlo di vapore per farlo uscire in grande quantità (Fig. 22).

Anche quando solidifica l'acqua aumenta il suo volume esercitando una forza considerevole; l'esperienza eseguita da Faraday è di nuovo spettacolare:

Ora prendiamo il caso dell'acqua che cambia in ghiaccio: possiamo farlo raffreddandola in una miscela di sale e

ghiaccio triturato, lo farò per mostrarvi l'espansione dell'acqua in qualcosa di maggior volume quando cambia in questo modo. Queste bottiglie sono fatte di ghisa molto resistente e molto spessa, suppongo che siano spesse un terzo di pollice; sono riempite di acqua con molta con attenzione, in modo da eliminare tutta l'aria e sono state chiuse avvitandole con forza. Vedremo che quando congeleremo l'acqua in questi recipienti di ghisa, non riusciranno a contenere il ghiaccio e l'espansione all'interno di loro le romperà in pezzi come questi [indicando alcuni frammenti], che provengono da bottiglie esattamente dello stesso tipo. Sto per mettere queste due bottiglie nella miscela di ghiaccio e sale allo scopo di farvi vedere che quando l'acqua diventa ghiaccio cambia di volume in modo straordinario.

Un'altra caratteristica delle lezioni è quella di allestire sempre gli esperimenti al momento della loro esecuzione montando gli apparecchi impiegati spiegando le funzioni dei diversi componenti, esprimendo poi quello che si aspetta debba accadere e a volte chiedendo al pubblico che cosa prevede debba accadere.

Quando parla del ghiaccio il riferimento alla vita quotidiana gli permette di mantenere elevato l'interesse dei giovani spettatori:

Sapete molto bene che il ghiaccio galleggia sull'acqua; se un ragazzo cade attraverso un foro nell'acqua, tenta di aggrapparsi al ghiaccio per rimanere a galla. Perchè il ghiaccio galleggia? Pensateci e filosofate. Perché il ghiaccio è più grande della quantità di acqua che lo produce e quindi il suo peso è minore e l'acqua è più pesante.

Dopo avere eseguito un esperimento sul riscaldamento dell'acqua e la produzione di vapore ne viene eseguito uno riguardante la condensazione:

Ho qui un altro esperimento per fare vedere la condensazione dell'acqua da uno stato di vapore nuovamente in uno stato liquido, allo stesso modo del vapore, uno dei prodotti della candela, è stato condensato sulla parte inferiore del piatto ed è stato ottenuto sotto forma di acqua; per mostrarvi come questi cambiamenti avvengono veramente e completamente, prenderò questo cilindro di latta, che ora è pieno di vapore e chiudo la parte superiore. Vedremo cosa avviene quando induciamo questa acqua o vapore a ritornare di nuovo allo stato liquido versando acqua fredda sulla parte esterna. [Il conferenziere ha versato l'acqua fredda sopra il recipiente che immediatamente si è accartocciato] (Fig. 23).

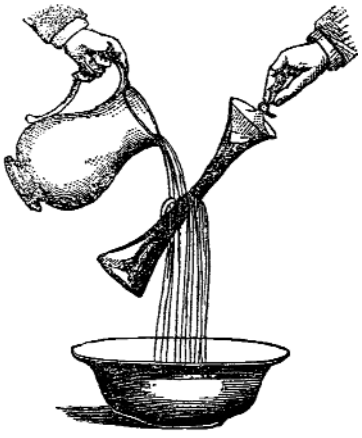

Fig. 23.

Vedete che cosa è accaduto. Se avessi chiuso il tappo e ancora somministrato calore, il recipiente sarebbe scoppiato; ancora, quando il vapore ritorna allo stato di acqua, il recipiente si accartoccia, essendosi prodotto un vuoto all'interno provocato dalla condensazione del vapore. In futuro non ci faremo ingannare, quindi, da nessuno dei cambiamenti prodotti nell'acqua. L'acqua è la stessa in ogni luogo, sia prodotta dall'o-

ceano o dalla fiamma di una candela. Dove si trova, allora, quest'acqua che otteniamo da una candela? Devo anticipare un po' e dirvelo.

Evidentemente viene dalla candela, come una parte di essa, ma si trova all'interno della candela in anticipo? No, non è nella candela; e non è intorno alla candela nell'aria che è necessaria per la sua combustione. Non si trova né nell'una né nell'altra, ma viene dalla loro azione congiunta, una parte dalla candela, una parte dall'aria; ora dobbiamo seguire questo, di modo che possiamo capire completamente che cosa è la storia chimica di una candela quando la vediamo bruciare sul nostro tavolo. Come possiamo arrivare a questo? Io stesso conosco numerosi modi, ma desidero che ci arriviate voi dall'associazione nelle vostre menti di quello che vi ho già detto.

In questa occasione Faraday chiede al pubblico di ragionare e in base a quanto ha appreso in precedenza di anticipare cosa bisogna fare. A intervalli abbastanza regolari il pubblico non solo assiste ma viene coinvolto e fatto partecipare alle lezioni.

Vi mostro questi esperimenti allo scopo di precisare che in tutti questi casi non c'è niente che cambi l'acqua in qualche altra cosa; rimane ancora acqua; e così il recipiente è obbligato a fare qualcosa, si schiaccia verso l'interno, o, come nell'altro caso, con un ulteriore somministrazione di calore, si sarebbe dilatato.

Per rendere evidente le differenze di volume che la stessa quantità d'acqua occupa allo stato liquido e allo stato di vapore posa sul banco due scatole cubiche costruite per l'occasione. Non c'è bisogno di impiegare molte parole per fare capire la grande differenza di volume.

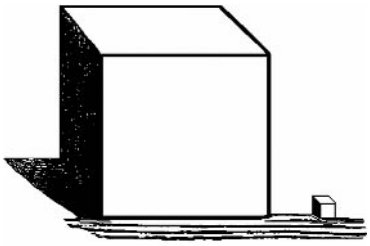

Fig. 24.

E che cosa pensate del volume dell'acqua quando passa allo stato di vapore? Vedete quel cubo [indicando un recipiente cubico]. Il suo lato è di un pollice cubo esattamente la stessa forma di un piede cubo e quella massa di acqua è sufficiente per espandersi fino a quel volume di vapore; al contrario, raffreddando contrarrà quella grande quantità di vapore in questa piccola quantità di acqua (Fig. 24).

A questo punto Faraday inizia un nuovo percorso che lo porterà a dimostrare la presenza dell'idrogeno nella molecola dell'acqua (ovviamente lui non usa il termine molecola). Ricaverà l'idrogeno dall'acqua indicandolo come uno dei due componenti dell'acqua.

Inizia facendo reagire un pezzetto di potassio gettato in un recipiente contenente dell'acqua.

È una cosa che dobbiamo maneggiare con molta attenzione; per farvi vedere, se permetto a un piccolo spruzzo d'acqua di arrivare sopra questa massa, ne incendio una parte; se ci fosse un libero accesso di aria, tutto prenderebbe rapidamente fuoco. Questo è un metallo, bello e lucente, che cambia velocemente nell'aria e, come sapete, cambia velocemente in acqua. Ne metterò un pezzetto nell'acqua e vedete che brucia

in modo molto bello, producendo una lampada galleggiante, usando l'acqua al posto dell'aria.

Prosegue mettendo della limatura di ferro nell'acqua per fare vedere come l'acqua agisce su di essa facendola «arrugginire», brucia un pezzetto di zinco nella fiamma della candela. Getta poi della limatura di ferro su una fiamma per dimostrare che brucia producendo una fiamma molto luminosa.

Si appresta poi a produrre idrogeno facendo passare del vapore acqueo, prodotto con una piccola caldaia, attraverso un tubo di ferro arroventato in un forno e riempito di trucioli di ferro. L'idrogeno viene raccolto in un provettone capovolto e immerso nell'acqua.

Viene ora presentata la produzione dell'idrogeno con un'altra reazione, quella fra un acido e un metallo. Gli spettatori vengono invitati a ripetere l'esperimento a casa loro:

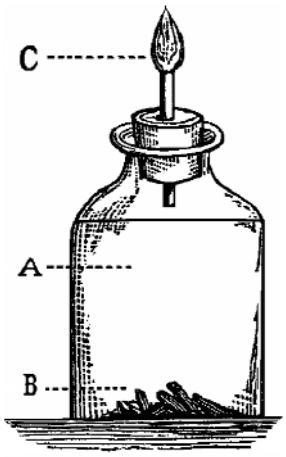

Fig. 27.

Se volete produrre idrogeno, potete prepararlo facilmente da pezzetti di zinco e acido solforico o muriatico (Fig. 27).

Qui c'è quella che in precedenza è stata denominata la «candela del filosofo». È una boccetta con un tappo di sughero e un tubetto che passa attraverso di esso. Ora metto dentro alcuni pezzetti di zinco.Uso questo piccolo strumento per un utile scopo nelle nostre dimostrazioni, poiché desidero mostrare che potete preparare l'idrogeno e fare con esso alcuni esperimenti, se vi fa piacere, a casa vostra.

Lasciatemi dire perchè faccio attenzione a non riempire troppo questa boccetta. Lo faccio perché il gas che si sviluppa, come avete visto, è molto combustibile, è esplosivo in misura considerevole una volta mescolato con l'aria e potrebbe provocare dei danni se applicate una fiamma all'estremità di quel tubo prima che tutta l'aria sia stata eliminata dallo spazio sopra l'acqua. Ora sto per versare dentro l'acido solforico. Ho usato pochissimo zinco e più acido solforico e acqua, perché desidero utilizzarlo per un certo tempo. Quindi procedo con attenzione in questo modo per modificare le proporzioni degli ingredienti in modo da potere avere una produzione regolare non troppo rapida e non troppo lenta. Ora avvicinerò la fiamma alla parte superiore del tubo. C'è dell'idrogeno che brucia. Abbiamo la nostra candela filosofica. È una specie di fiamma insignificante e debole, ma è così calda che raramente una fiamma comune emette così tanto il calore.

Il successivo esperimento è forse quello più spettacolare pur nella sua semplicità esecutiva:

Qui c'è il nostro generatore di idrogeno e qui c'è un po'di acqua saponata. Ho un tubo di gomma indiana collegato al generatore dell'idrogeno ed all'estremità del tubo c'è una pipa da tabacco (Fig. 29).

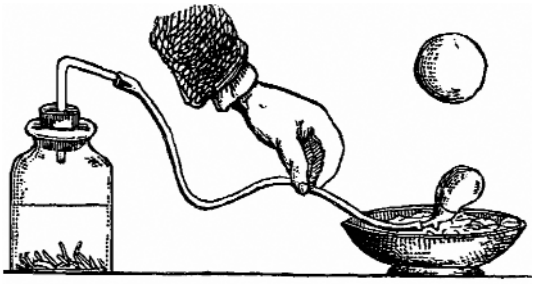

Fig. 29.

Posso mettere così la pipa nell'acqua saponata e fare salire le bolle per mezzo dell'idrogeno. Osservate come le bolle cadono verso il basso quando le gonfio con il mio alito caldo; ma notate la differenza quando le gonfio con l'idrogeno. [Il conferenziere qui ha gonfiato le bolle con l'idrogeno, ed esse salgono fino al tetto del teatro].

Ciò vi fa vedere come la leggerezza di questo gas potrebbe essere in grado di trasportare con esso non soltanto la ordinaria bolla di sapone, ma la gran parte di una goccia appesa alla sua parte inferiore.

Posso mostrare la sua leggerezza in un modo ancora migliore di questo; bolle più grandi di queste che possono essere sollevate; in effetti, nei tempi passati, gli aerostati hanno erano riempiti con questo gas.

Interviene ora Mr Anderson, il fedele collaboratore di Faraday:

Mr Anderson fisserà questo tubo sopra al nostro generatore e qui avremo un flusso di idrogeno con il quale possiamo riempire questo aerostato fatto di collodio. Non devo neppure fare attenzione di fare uscire tutta l'aria poiché conosco la capacità di questo gas di spostarla fuori. [Due palloncini di collodio sono stati gonfiati e fatti sollevare, uno viene trattenuto con un laccio].

La terza conferenza si avvia alla conclusione con la descrizione delle proprietà dell'idrogeno:

L'idrogeno non dà luogo a nessuna sostanza che possa diventare solida, né durante la combustione né in seguito come prodotto della sua combustione; quando brucia produce soltanto acqua; se prendiamo un vetro freddo e lo mettiamo sopra la fiamma, diventa umido, e avete prodotto immediatamente dell'acqua in quantità apprezzabile; nient'altro è prodotto dalla sua combustione se non la stessa acqua che avete visto produrre dalla fiamma della candela. È importante ricordare che questo idrogeno è l'unica cosa in natura che fornisce l'acqua come unico prodotto della combustione.

La lezione finisce, come tutte le altre, con un accenno a ciò che presenterà nella successiva. Presenta una batteria di pile e descrive alcune caratteristiche della corrente elettrica che può ottenere. In questa circostanza Faraday coglie l'occasione per parlare di energia chimica:

Gli argomenti della quarta conferenza riguardano l'idrogeno presente nell'acqua prodotta dalla fiamma della candela, la combustione nell'acqua e l'altro componente dell'acqua, l'ossigeno.

Faraday fa agire la corrente elettrica, prodotta dalla batteria di pile che ha presentato e descritto alla fine della precedente lezione, su una soluzione ottenuta mettendo alcuni pezzetti di rame in una soluzione di acido nitrico; esegue poi l'elettro-

lisi dell'acqua e si propone di identificare la natura dei gas che si sviluppano ai due elettrodi. A questo scopo raccoglie i gas prodotti in due provette tenute capovolte sopra i due elettrodi immersi nell'acqua. Prende quella contenete il gas liberato dall'elettrodo negativo e domanda se può essere vapore o qualcosa d'altro

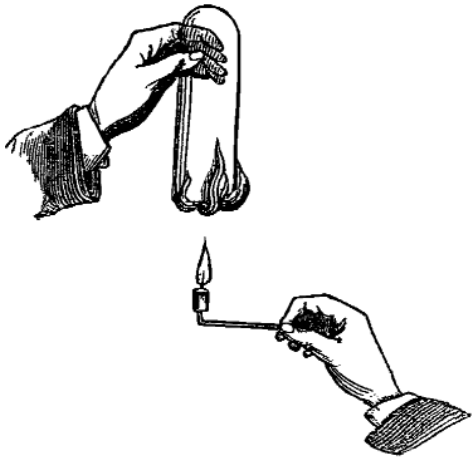

Fig. 33.

Qui sembra che stia ribollendo qualcosa che conosciamo, ma sta veramente bollendo? Vediamo se quello che si sviluppa è vapore oppure no. Presto vedrete che il recipiente si riempirà di vapore, se quello che sale dall'acqua è vapore. Ma può essere vapore? Sicuramente no; perché, vedete, esso rimane inalterato. Rimane fermo sopra l'acqua e non può quindi essere vapore, ma deve essere un gas permanente di una certa specie. Che cosa è? È idrogeno? È qualcosa d'altro? Bene, lo esamineremo. Se è idrogeno brucerà. [Il conferenziere allora ha incendiato una parte del gas raccolto, che è bruciato con un'esplosione] (Fig. 33).

Nel successivo esperimento Faraday esegue ancora l'elettrolisi dell'acqua ma raccoglie nello stesso recipienti i gas liberati (idrogeno e ossigeno) e poi li brucia facendo scoccare una scintilla con una bottiglia di Leyda: la combustione consiste in una piccola esplosione che produce una luce brillante e lascia come residuo una piccola quantità di acqua. Conclude dicendo:

Qui abbiamo operato solamente con l'acqua senza alcun riferimento all'atmosfera. L'acqua prodotta dalla candela ha avuto l'aiuto dell'atmosfera per produrla; ma in questo modo può essere prodotta indipendentemente dall'aria. L'acqua, quindi, deve contenere un'altra sostanza che la candela preleva dall'aria e che, combinata con l'idrogeno, produce acqua.

Così dicendo si appresta a dimostrare che nell'acqua c'è un altro componente che è stato *prelevato* dall'aria durante la combustione della candela: si tratta dell'ossigeno. Esegue allora di nuovo l'elettrolisi dell'acqua raccogliendo separatamente in due provette capovolte i due gas prodotti.

Entrambi queste provette si riempiranno di gas. Quella alla destra si riempie molto velocemente; quella di sinistra si riempie meno velocemente; e, benché abbia permesso ad alcune bolle di fuoriuscire, tuttavia l'azione si svolge ancora abbastanza regolarmente; se non fosse che uno è un poco più piccolo dell'altro, voi vedreste che dovrei avere un volume doppio in questo rispetto all'altro. Entrambi questi gas sono incolori; si alzano sopra l'acqua senza condensare; sono simili in tutto – intendo in tutte le cose apparenti; qui abbiamo l'occasione per esaminare questi corpi e per accertarci che cosa essi siano.

Sui due gas esegue gli esperimenti per dimostrare che in uno è presente idrogeno e nell'altro ossigeno. Quello riguardante l'ossigeno viene presentato così

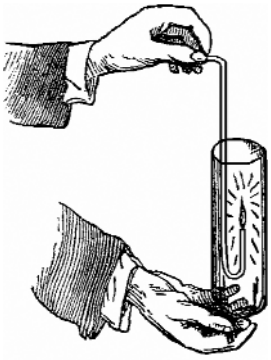

Fig. 37.

Ora stiamo producendo in questo modo, come vedrete, un gas proprio come quello che abbiamo appena ottenuto nell'esperimento con la batteria, trasparente, non solubile in acqua che presenta le comuni proprietà visibili dell'atmosfera. Poiché la forza di fare bruciare il legno, la cera, o altre cose, in modo così vivace, era così notevole nell'ossigeno che abbiamo ottenuto dall'acqua con la batteria voltaica, noi possiamo aspettarci di trovare qui la stessa proprietà. Lo sperimenteremo. Vedete che abbiamo la combustione di un lume acceso nell'aria e qui vediamo la sua combustione in questo gas [abbassando il lume nel recipiente] (Fig. 37).

Vedete come brucia luminosamente e magnificamente! Potete inoltre vedere più di questo: lo percepirete come un gas pesante, mentre l'idrogeno andrebbe verso l'alto come un aerostato, o persino più velocemente di un aerostato, se non è ostacolato dal peso del suo involucro. Potete vedere facilmente che anche se abbiamo ottenuto dall'acqua un volume doppio di idrogeno rispetto quello dell'ossigeno, non consegue che otteniamo il doppio in peso, perché uno è un gas pesante e l'altro un gas molto leggero. È meraviglioso come, per mezzo dell'ossigeno, otteniamo una accelerazione della combustione. Non riguarda soltanto la combustione dell'idrogeno, del carbonio, o della candela, esso esalta tutte le combustioni di genere comune.Per esempio ne prenderemo una che si riferisce al ferro, poiché avete già visto il ferro bruciare un po' nell'atmosfera. Qui c'è un recipiente di ossigeno e questo è un pezzo di filo di ferro; ma esso brucerebbe lo stesso anche se fosse una barra spessa quanto il mio polso (Fig. 38).

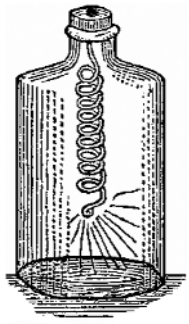

Fig. 38.

Per illustrare ulteriormente la proprietà dell'ossigeno di alimentare la combustione Faraday incendia dello zolfo nell'aria e poi lo immerge nell'ossigeno. Prosegue poi con la combustione del fosforo:

Sto ora per mostrarvi la combustione di un'altra sostanza, il fosforo. Posso farlo meglio per voi qui di quanto possiate farlo a casa. Questa è una sostanza molto combustibile; e se è così combustibile nell'aria, che cosa potreste prevedere se fosse in presenza di ossigeno? Sto per mostrarvelo non nella sua massima intensità, poiché potremmo quasi fare saltare per aria l'apparecchio; ora potrei anche rompere il recipiente, benché non desideri rovinare imprudentemente le cose. Vedete come brucia nell'aria. Quale luce meravigliosa produce quando lo immergo nell'ossigeno! [Introducendo il fosforo acceso nel recipiente di ossigeno]. Vedete che le particelle solide uscendo rendono la combustione così brillantemente luminosa.

Prima di proseguire Faraday riassume i risultati delle ultime esperienze:

Finora abbiamo verificato la potenza dell'ossigeno e l'elevata combustione che produce, per mezzo di altre sostanze. Dobbiamo adesso, un po' più a lungo, guardarlo rispetto all'idrogeno. Sapete che, quando abbiamo permesso all'ossigeno e all'idrogeno prodotti dall'acqua di mescolarsi e bruciare insieme, si è verificata una piccola esplosione.

Ricordate anche che quando ho bruciato insieme l'ossigeno e l'idrogeno in un becco a gas, non abbiamo ottenuto che pochissima luce, ma un grande calore; ora sto per bruciare l'ossigeno e l'idrogeno mescolati nella stessa proporzione in cui si trovano nell'acqua.

Qui ho un recipiente che contiene un volume di ossigeno e due volumi di idrogeno. Questa miscela è esattamente della stessa natura del gas che abbiamo appena ottenuto dalla batteria voltaica; sarebbe esagerato bruciarli immediatamente; ho quindi deciso di riempire delle bolle di sapone con la miscela e di bruciare queste bolle, quello che possiamo vedere da uno o due esperimenti è come questo ossigeno consenta la combustione dell'idrogeno. Prima di tutto, vedremo se possiamo riempire una bolla. Bene, il gas arriva [facendolo uscire attraverso un tubo a pipa da tabacco introdotta nella soluzione saponata].

Qui ho una bolla. Sto per metterla sulla mia mano e forse penserete che in questo esperimento mi stia comportando stranamente, ma è per mostrarvi che non dobbiamo sempre fidarci dei rumori e dei suoni, ma piuttosto dei fatti reali. [Facendo scoppiare una bolla nel palmo della sua mano].

Temo di bruciare una bolla dall'estremità del tubo, perché l'esplosione passerebbe nel recipiente e lo manderebbe in frantumi. Questo ossigeno, allora, si unirà all'idrogeno, come vedete dal fenomeno e sentite dal suono, con una grande velocità di azione e tutte le loro energie sono utilizzate per neutralizzare le qualità dell'idrogeno. Così ora penso che, da quello che abbiamo detto prima, comprenderete l'intera storia dell'acqua per quanto riguarda l'ossigeno e l'aria.

Gli argomenti della quinta conferenza sono l'ossigeno presente nell'aria, la natura dell'atmosfera e le sue proprietà, gli altri prodotti della candela, l'anidride carbonica e le sue proprietà. Questa è la conferenza più prettamente chimica nella quale Faraday dimostra di essere un vero chimico, al corrente degli ultimi sviluppi e della scoperte che avvengono in tutta l'Europa. Mette in mostra tutte le sue abilità e competenze di laboratorio.

Bisogna riconoscere che le capacità didattiche sono veramente notevoli: rendere comprensibili a un pubblico di ragazzi concetti riguardanti le miscele di gas e la natura materiale dell'aria non è cosa da poco. Arriverà a dimostrare che nell'atmosfera oltre all'ossigeno è presente un altro gas che, pur essendo inerte, ha una specifica e importante funzione e che l'aria stessa è un corpo che ha una massa non trascurabile.

Per prima cosa confronta la combustione della candela in presenza di solo ossigeno e poi in presenza di aria, facendo notare che in presenza di aria la combustione è meno vivace.

Utilizzando come indicatore il biossido di azoto che si arrossa in presenza di ossigeno, Faraday dimostra che l'aria non è costituita da solo ossigeno ma contiene un altro gas, l'azoto.

Ora viene esaminata l'atmosfera a partire dalla sua composizione (20 parti di ossigeno e 80 di azoto), confrontato il peso di questi gas e come si può pesare l'aria. Conclude affermando che un litro di azoto pesa 1,256g**,** un litro di ossigeno pesa 1,430g mentre un litro d'aria pesa 1,294g.

Dopo avere dato qualche spiegazione sul peso dell'aria Faraday prosegue mostrando alcune conseguenze facendo il vuoto con una pompa applicata a un recipiente con una parete elastica che si incurva verso l'interno facendola implodere con una sonora detonazione.

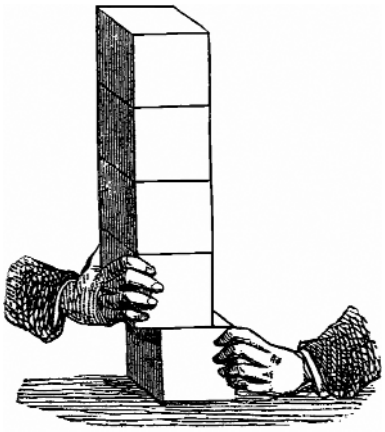

Fig. 42.

Passa poi a parlare del peso dell'atmosfera illustrandolo con una semplice colonna di cubi sovrapposti. Anche in questo caso è evidente l'abilità didattica di Faraday: con cinque cubi sovrapposti riesce a fare capire immediatamente come agisce la massa d'aria (Fig. 42).

Così accade con l'atmosfera; l'aria che sta sopra è sostenuta dall'aria che sta sotto e quando l'aria è pompata via sotto di loro, avviene il cambiamento avvenuto quando ho disposto la mia mano sulla pompa dell'aria che avete visto nel caso della membrana e che vedrete meglio qui. Ho legato sopra questo recipiente un pezzo di gomma elastica e ora tolgo l'aria dal suo interno; se guarderete il foglio di gomma, che funge da divisorio fra l'aria sottostante e l'aria di sopra, vedrete, quando aziono la pompa, come si manifesta la pressione. Vedete dove sta andando: posso adesso mettere la mia mano dentro il recipiente; ma questo risultato è causato soltanto dalla grande e potente spinta dell'aria sovrastante. Quanto è meraviglioso quello che accade in questa curiosa circostanza!

La meraviglia manifestata dallo scienziato contagia immediatamente il pubblico. Si comprende bene la sua soddisfazione nel fare partecipi gli altri delle sue conoscenze. Subito propone un esperimento che può essere svolto dai presenti:

Qui c'è qualcosa con cui potete esercitavi quando ho terminato. È una piccola apparecchiatura costituita da due semisfere vuote d'ottone, unite perfettamente insieme e collegati a un tubo con un rubinetto, tramite il quale possiamo estrarre l'aria contenuta all'interno; anche se le due metà si possono separare così facilmente, quando l'aria è lasciata dentro, tuttavia vedrete, quando fra poco la toglieremo, che non c'è forza sufficiente di due qualunque di voi che riuscirà a separarle. Ogni pollice quadrato di superficie nell'area di questo contenitore sostiene all'incirca quindici libbre di peso, o quasi, quando l'aria è stata estratta, e voi potete allora provare la

vostra forza per vedere se riuscite a superare la pressione atmosferica (Ogni centimetro quadrato di superficie esposta all'atmosfera sostiene il peso di 1,033 kg).

Fare divertire facendo scienza è un metodo efficace per incuriosire e interessare gli studenti.

Qui ho un'altra cosa molto simpatica: una ventosa per ragazzi, solamente modificata dal filosofo.

Noi giovani abbiamo tutto il diritto di prendere i giocattoli e farli diventare filosofia (scienza), visto che al giorno d'oggi stiamo trasformando la filosofia in gioco. Qui abbiamo una ventosa, fatta solo con della gomma indiana. Se la comprimo sul tavolo vedete che immediatamente fa presa subito. Perchè fa presa? Posso farla scivolare intorno, ma se provo ad alzarla tirando, sembra che con essa abbia tirato il tavolo. Posso facilmente farla scivolare da un posto a un altro, ma riesco ad allontanarla soltanto quando la porto fino al bordo del tavolo. È trattenuta soltanto dalla pressione dell'atmosfera sovrastante; abbiamo una coppia di ventose e se prendete queste due e le premete insieme, vedete quanto saldamente aderiscono. Effettivamente, possiamo usarle come avete visto, appiccicandole contro finestre, o pareti, alle quali aderiranno per tutta una sera e utilizzarle per appendervi ogni cosa che voi volete.

Tuttavia penso che a ragazzi come voi dovrebbero essere presentati esperimenti che si possano fare a casa vostra; così ecco qui un esperimento molto bello per mostrare la pressione dell'atmosfera.

Anche il prossimo esperimento rispecchia in pieno il metodo di Faraday: proporre esperimenti di facile esecuzione con oggetti di uso quotidiano:

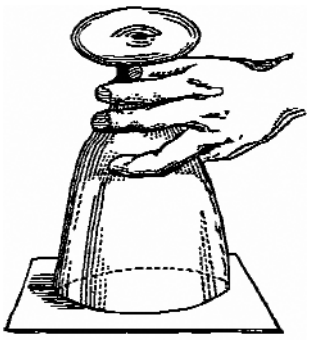

Fig. 44.

Qui c'è un bicchiere pieno d'acqua. Supponete che io vi chieda di girare quel bicchiere all'incontrario senza fare uscire l'acqua, senza l'aiuto della vostra mano, ma soltanto usando la pressione dell'atmosfera; potreste farlo? Prendete un bicchiere da vino, abbastanza pieno o metà pieno di acqua e appoggiate un foglio di carta sulla parte superiore; capovolgetelo e poi guardate cosa succede del foglio e dell'acqua.L'aria non può entrare dentro perché l'acqua, per la sua attrazione capillare intorno al bordo, la mantiene fuori. Penso che questo vi fornisca una corretta nozione di quella che potete denominare materialità dell'aria; e quando vi dico che quella scatola ne contiene una libbra e questa stanza più di una tonnellata, comincerete a pensare che l'aria sia qualcosa di molto importante (Fig. 44).

Il seguente esperimento che propone rivela ancora una volta lo spirito allegro che Faraday esibisce nei suoi esperimenti:

Ho visto l'altro giorno un esperimento che mi è piaciuto molto, così ho pensato che qui servirebbe al nostro scopo. (Devo trattenere la mia lingua per quattro o cinque minuti prima di cominciare questo esperimento, perché il successo dipende dai miei polmoni). Con una adeguata applicazione dell'aria, penso di riuscire a spostare questo

uovo da un portauovo all'altro con la forza del mio alito; ma se fallisco è per una buona causa e non prometto il successo, perché sto parlando più di quanto devo per fare riuscire l'esperimento. [Il conferenziere ha eseguito l'esperimento ed è riuscito a fare saltare l'uovo da un portauovo all'altro]. Vedete che l'aria che soffio va verso il basso fra l'uovo e il portauovo provocando una ventata sotto l'uovo che riesce così ad alzare una cosa pesante; un uovo pieno è una cosa molto pesante da alzare con l'aria. Se volete fare l'esperimento, dovreste prima bollire l'uovo per renderlo abbastanza duro e poi potete provare con sicurezza a farlo saltare da una tazza all'altra, facendo un po' di attenzione.

Dopo avere eseguito un esperimento per dimostrare la compressibiltà dell'aria comprimendo una pallina costituita da un pezzetto di patata o di mela dentro una cannuccia di legno chiusa a una estremità con un dito, il successivo argomento riguarda l'elasticità sempre dell'aria:

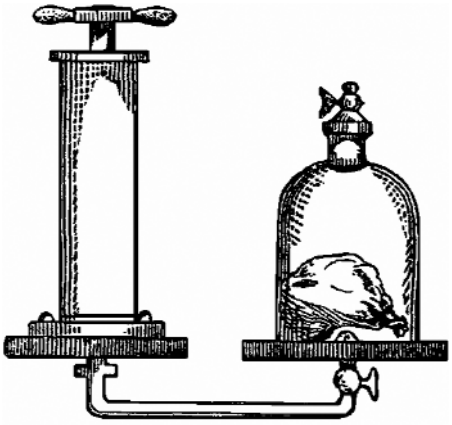

Fig. 45.

Se prendo qualunque cosa che trattiene bene l'aria, come questa membrana, che inoltre può contrarsi ed espandersi in modo da darci una misura dell'elasticità dell'aria e contenere una determinata quantità di aria. Se togliamo l'atmosfera che si trova sulla parte esterna di essa, come in questi casi appena abbiamo esercitato sopra una pressione, se togliamo la pressione, vedrete come continuerà a espandersi, diventando sempre più grande, fino a riempire del tutto questa campana di vetro, mostrandovi quella meravigliosa proprietà dell'aria, la sua elasticità, la sua compressibilità ed espandibilità, con una estensione molto elevata, la quale è essenziale per gli scopi e i servizi che essa rende nell'economia della creazione (Fig. 45).

La chiusura di questa frase riflette bene lo spirito del tempo per quanto riguarda l'opinione prevalente, anche tra gli scienziati, sull'origine del mondo e degli esseri viventi. Nel 1856 Darwin non ha ancora pubblicato la sua rivoluzionaria teoria. Faraday stesso, fervente religioso, credeva nella creazione divina del mondo e che l'uomo costituisse una creatura a sé stante. La Natura era al servizio dell'uomo e le indagini scientifiche avevano l'obiettivo di fornire un fondamento scientifico a quanto scritto nella Bibbia.

A questo punto Faraday introduce un nuovo argomento riguardante un prodotto della combustione che non era stato ancora esaminato: l'anidride carbonica che verrà da lui sempre denominata acido carbonico.

La presenza di anidride carbonica fra i prodotti della combustione viene rivelata utilizzando l'acqua di calce.

Qui ho una bottiglia riempita d'aria; e se in essa metto un po' di acqua di calce, né l'ossigeno né l'azoto, né qualunque altra cosa vi sia in quella quantità d'aria, causerà alcun cambiamento nell'acqua di calce. Rimane perfettamente limpida e nessuna agitazione fra quella quantità di acqua di calce con quella quantità di aria nel suo ambiente, causerà alcun cambiamento; ma se prendo questa bottiglia con l'acqua di calce e la tengo in modo da fare sì che i prodotti della candela vengano in contatto con essa, in poco tempo diventerà lattiginosa. C'è il gesso, prodotto dalla calce che abbiamo usato per fare l'acqua di calce, combinata con qualcosa che proviene dalla candela, quell'altro prodotto di cui siamo alla ricerca e di cui desidero parlarvi oggi.

La produzione di carbonato di calcio (calcare) fornisce a Faraday lo spunto per fare un interessante collegamento riguardante la diffusione di questo composto. I suoi continui riferimenti alla realtà rendono la chimica molto vicina agli ascoltatori fornendo loro degli esempi che li aiutano a «toccare con mano» quanto vedono illustrato dallo scienziato.

Prendiamo allora questa polvere bianca, prodotta dall'acqua di calce e dal vapore della candela, che si presenta come la calce per imbiancare o il gesso e una volta esaminata essa risulta essere esattamente la stessa sostanza della calce per imbiancare o del gesso. Così siamo condotti, o siamo stati condotti, a osservare le diverse circostanze di questo esperimento e seguire questa produzione di gesso e alle sue diverse cause, per fornirci una corretta conoscenza della natura della combustione della candela – per trovare che questa sostanza uscita dalla candela è esattamente la stessa sostanza che uscirebbe da una storta se vi mettessi dentro un certo gesso con una po' di umidità e lo arroventassi; trovereste allora che la stessa sostanza uscirebbe da esso esattamente come esce dalla candela.

Ma abbiamo metodi migliori per ottenere questa sostanza e in maggiori quantità, in modo da accertare quali sono le sue caratteristiche generali. Troviamo questa sostanza in grande abbondanza in un gran numero di casi dove ne aspettereste una quantità minima. Tutti i calcari contengono moltissimo di questo gas prodotto dalla candela e che denominiamo acido carbonico.

Tutti i gessi, tutte le conchiglie, tutti i coralli, contengono una grande quantità di questa curiosa aria. La troviamo inclusa in queste pietre, per questa ragione il Dott. Black l'ha chiamata «aria fissa», avendola trovata in quelle cose fisse come il marmo e il gesso. L'ha denominata aria fissa perché ha perso la sua qualità di aria gassosa e ha assunto lo stato di un corpo solido. Possiamo ottenere facilmente questa aria dal marmo.

I due ultimi esperimenti illustrano l'azione dell'anidride carbonica e il fatto che essa pesa più dell'aria.

Supponete di prendere un bicchiere che non contenga niente altro che aria e da questo recipiente che contiene l'acido carbonico tentare di versare un po' di questo gas nel bicchiere; mi domando se ne è andato dentro oppure no. Non posso capirlo dall'apparenza, ma solo in questo modo [introducendo il cero]. Sì, c'è, vedete; e se dovessi esaminarlo con l'acqua di calce, dovrei trovarlo anche con quella prova. Prendo questa provetta e la introduco nel recipiente di acido carbonico – veramente

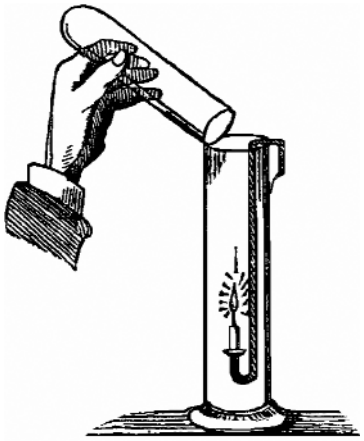

Fig. 47.

noi troppo spesso abbiamo veri e propri recipienti di acido carbonico – e ora, se c'è dell'acido carbonico, devo prenderlo in questo momento e sarà in questa provetta, che esamineremo con un cero. C'è, vedete; è pieno di acido carbonico (Fig. 47).

C'è un altro esperimento con il quale vi mostrerò il suo peso.

Ho qui un recipiente appeso a una estremità della bilancia equilibrata; quando verso questo acido carbonico nel recipiente sul lato che ora contiene aria, lo vedrete immediatamente spostarsi in basso a causa dell'acido carbonico che ho versato dentro (Fig. 48).

E ora, se esamino questo recipiente con il cero acceso, troverò che l'acido carbonico è sceso dentro e non ha più alcuna capacità di mantenere la combustione. Se gonfio una bolla di sapone, che naturalmente sarà piena d'aria e la lascio cadere in questo recipiente di acido carbonico, essa galleggerà. Ma prima di tutto prendo uno di questi palloncini riempiti d'aria. Non sono abbastanza sicuro dove si trovi l'acido carbonico; verifiche-

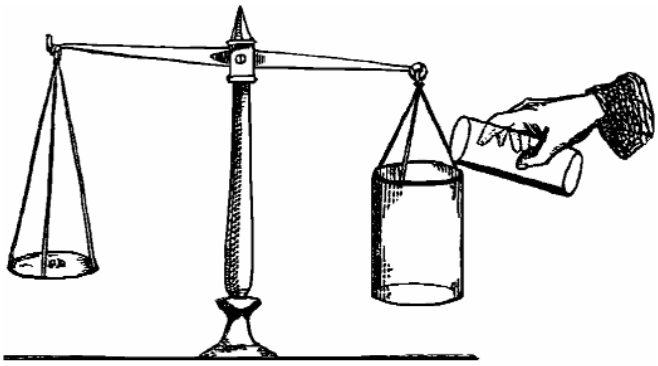

Fig. 48.

remo ora la profondità e vedremo dove si trova il suo livello. Là, vedete, abbiamo un palloncino che galleggia sull'acido carbonico; se immetto ancora un po'di acido carbonico, il palloncino si alza sempre di più. Esso va là; il recipiente è quasi pieno e ora vedrò se posso gonfiare una bolla di sapone su quello e farla galleggiare allo stesso modo. [Il conferenziere ha gonfiato una bolla di sapone e l'ha fatta cadere nel recipiente contenente l'acido carbonico dove galleggia a metà altezza]. Sta galleggiando, come il palloncino, in virtù del maggiore peso dell'acido carbonico rispetto all'aria. E ora, avendo finora parlato della storia dell'acido carbonico, delle sue origini nella candela, delle sue proprietà fisiche e peso, quando la prossima volta ci incontreremo, vi mostrerò di che cosa esso si compone e da dove prende i suoi elementi.

L'argomento principale della sesta conferenza è l'analogia fra la combustione di una candela e la respirazione; praticamente è come se Faraday chiudesse un cerchio. Dopo avere rivelato ogni segreto e illustrato tutti i possibili collegamenti conclude paragonando la combustione della candela a un essere vivente: essa si nutre di ossigeno ed emette anidride carbonica e acqua, come i viventi che respirano.

Faraday inizia collegandosi alla parte finale della quinta lezione poiché riguarda ancora l'anidride carbonica (denominata sempre acido carbonico), in particolare la *storia chimica di questa sostanza.*

Ma ancora non vi ho raccontato completamente e chiaramente la storia chimica di questa sostanza, l'acido carbonico, come lo otteniamo dalla candela, quindi ora devo riprendere l'argomento. Abbiamo visto i prodotti e la loro natura, come escono dalla candela. Siamo risaliti agli elementi dell'acqua e ora dobbiamo vedere dove sono gli elementi dell'acido carbonico prodotto dalla candela.

Alcuni esperimenti ve lo mostreranno. Vi ricordate che quando una candela brucia male produce del fumo; ma se sta bruciando bene il fumo non c'è. E sapete che la luminosità della candela è dovuta a questo fumo, che viene bruciato.

Qui ho un esperimento per dimostrare questo: finché il fumo rimane nella fiamma della candela e viene bruciato, produce una bella luce e non lo vediamo mai comparire sotto forma di particelle nere. Accenderò un combustibile che brucia in modo strano. Questo servirà al nostro scopo – un poco di trementina su una spugna. Vedete il fumo salire da esso e galleggiare nell'aria in grande quantità; e ricordate ora, l'acido carbonico che abbiamo ottenuto dalla candela, proviene da fumo simile a quello.

Per rendervelo evidente, introdurrò questa trementina che brucia sulla spugna in una boccetta in cui si trova ossigeno in abbondanza, la parte ricca dell'atmosfera, e vedete ora che il fumo viene interamente consumato. Questa è la prima parte del nostro esperimento.

Faraday prosegue esaminando con attenzione l'anidride carbonica che si forma nella combustione del carbone e il tipo di combustione molto particolare con la quale esso brucia.

L'analisi del carbonio, costituente dell'anidride carbonica, viene presentata con una chiara spiegazione del procedimento.

Come abbiamo fatto con l'acqua, così possiamo farlo con l'acido carbonico, scomporlo in due parti.

Il modo più semplice e più rapido è agire sull'acido carbonico con una sostanza che può sottrargli l'ossigeno e lasciare indietro il carbonio. Ricordate che ho preso il potassio e l'ho messo in acqua o sul ghiaccio e avete visto che poteva separare l'ossigeno dall'idrogeno. Ora, supponete che faccia qualcosa dello stesso genere qui con questo acido carbonico. Sapete che l'acido carbonico è un gas pesante. Non lo esaminerò con acqua di calce, poiché interferirà con gli esperimenti successivi, ma penso che la pesantezza del gas e la sua proprietà di spegnere la fiamma siano sufficienti per il nostro scopo.

Il collegamento con la respirazione viene ora presentato esaminando il prodotto della espirazione.

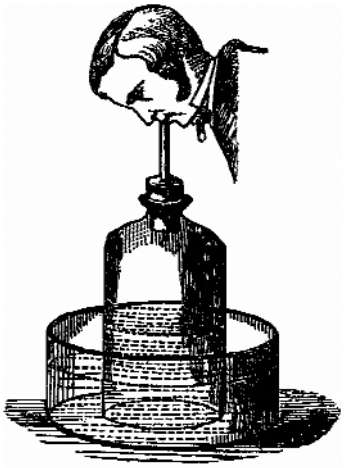

Fig. 50.

Ora vi mostrerò un altro esperimento, perché questa dimostrazione è una parte importante della nostra filosofia. Qui ho una bottiglia che contiene aria pura, come potete vedere dal fatto che una candela o una luce a gas la sta bruciando. La chiudo per un breve tempo e per mezzo di un tubo la collego alla mia bocca in modo da potere aspirare l'aria. Mettendola sopra l'acqua, nel modo che vedete, posso inspirare quest'aria (se il tappo di sughero è abbastanza stretto), mandarla nei miei polmoni e rimandarla nuovamente dentro la bottiglia (Fig. 50). Possiamo fare la prova e vedere il risultato. Osservate, in primo luogo aspiro l'aria e poi la rimando indietro, come è evidente dall'ascesa e dalla discesa dell'acqua; e ora, mettendo un cero nell'aria, vedrete lo stato in cui si trova, dalla luce che si è spenta.

Anche una sola inspirazione, vedete, ha completamente deteriorato quest'aria, di modo che non devo provare a respirarla una seconda volta.

Ora capite il motivo della improprietà di molte delle disposizioni fra le abitazioni delle classi povere, nelle quali l'aria è respirata ripetutamente per mancanza di ricambio, attraverso una adeguata ventilazione, necessaria per fornire un buon risultato.

Vedete come l'aria diventi viziata con una sola respirazione, di modo che potete capire facilmente come l'aria fresca sia per noi essenziale.

Le ultime due frasi mettono bene in evidenza uno dei principali obiettivi delle conferenze, quello di fare comprendere l'origine dei problemi della povera gente in modo da stimolare la volontà di comprenderli per potere affrontarli e risolverli.

Proseguendo ancora un poco, vediamo che cosa accadrà con l'acqua di calce. Qui ho una boccia di vetro contenente dell'acqua di calce che è disposta, per quanto riguarda i tubi, in modo da consentire all'aria di entrare, in modo da potere esaminare l'effetto provocato dall'aria espirata o inspirata dentro di essa (Fig. 51).

Fig. 51.

Naturalmente posso sia immettere dentro aria (attraverso A) in modo da fare passare attraverso l'acqua di calce l'aria che alimenta i miei polmoni, e posso espellere aria dai miei polmoni attraverso il tubo (B), che arriva al fondo, in modo da mostrare il suo effetto sull'acqua di calce.

Osserverete che per tutto il tempo che estraggo l'aria esterna attraverso l'acqua di calce e poi la immetto nei miei polmoni, non si produce alcun effetto sull'acqua – essa non intorbida l'acqua di calce; ma se immetto l'aria dai miei polmoni attraverso l'ac-

qua di calce numerose volte di seguito, vedete quanto bianca e lattiginosa stia diventando l'acqua, mostrando l'effetto dell'aria espirata su di essa; e ora cominciate a capire che l'atmosfera che abbiamo degradato con la respirazione è inquinata da acido carbonico, come potete vedere qui in contatto con l'acqua di calce.

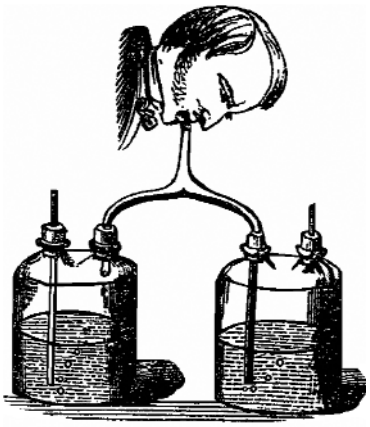

Fig. 52.

Ho qui due bottiglie, una contenente l'acqua di calce e l'altra acqua comune e i tubi che passano nelle bottiglie e le collegano. L'apparecchio è molto rudimentale, ma ciononostante è utile (Fig. 52).

Se prendo queste due bottiglie, inalando qui e esalando là, la disposizione dei tubi impedirà all'aria di tornare indietro. L'aria che entra andrà alla mia bocca e ai polmoni e nell'uscire attraverserà l'acqua di calce, di modo che posso continuare a respirare e fare un esperimento molto raffinato nella sua natura e con risultati molto buoni. Osserverete che l'aria buona non ha fatto niente all'acqua di calce; nell'altro caso, niente altro è arrivato all'acqua di calce se non la mia espirazione e vedete la differenza nei due casi. Ora andiamo un po' più avanti. In cosa consiste tutto questo processo continuo che avviene dentro di noi e del quale non possiamo fare a meno giorno e notte, il quale è stato previsto così dall'Autore di tutte le cose che Lui ha organizzato in modo che fosse indipendente da ogni volontà?

Quest'ultima frase rivela bene il profondo senso religioso di Faraday che sostiene sempre tutto il suo impegno scientifico.

Se tratteniamo il respiro, come possiamo fare fino a un certo punto, dovremmo soccombere. Quando siamo addormentati gli organi della respirazione e le parti collegate proseguono la loro azione, tanto è indispensabile questo processo di respirazione, questo contatto dell'aria con i polmoni. Devo spiegarvi, nel modo più breve possibile cosa è questo processo.

Nella successiva spiegazione Faraday allarga il discorso fornendo alcune informazioni sulla digestione per mettere in evidenza che gli alimenti ingeriti vengono a contatto con l'aria inspirata:

…l'aria e gli alimenti finiscono vicini, separati soltanto da una membrana molto sottile: in questo modo l'aria può agire sul sangue, fornendo esattamente gli stessi risultati naturali che abbiamo visto a proposito della candela. La candela si combina con parti di aria, formando l'acido carbonico e sviluppando calore; allo stesso modo questo curioso e meraviglioso cambiamento avviene nei polmoni. L'aria che entra, si combina con il carbonio (non il carbonio allo stato libero, ma, come in questo caso, pronto a reagire subito) e forma acido carbonico che viene espulso fuori nell'atmosfera, in questo modo avviene questo singolare risultato; possiamo considerare così l'alimento come un combustibile.

Faraday a questo punto fa notare l'enorme quantità di anidride carbonica che viene immessa nell'aria con la respirazione e con la combustione facendo subito il collegamento con l'atmosfera londinese:

Vi stupirete quando vi dirò quanto carbonio produce questo gioco curioso. Una candela brucerà per circa quattro, cinque, sei, o sette ore. Quanta deve essere, allora, la quantità quotidiana di carbonio che entra nell'aria sotto forma di acido carbonico! Che quantità di carbonio emette ciascuno di noi nella respirazione! Quale meraviglioso cambiamento del carbonio avviene durante la combustione o la respirazione! Un uomo in ventiquattro ore trasforma in acido carbonico fino a sette once di carbonio (circa 200g), una mucca da latte settanta once (2 kg) e un cavallo settantanove once (202 kg), solamente con la respirazione. Ciò significa che un cavallo in ventiquattro ore brucia settantanove once di carbone di legna, o di carbonio, nei suoi organi respiratori per assicurare il suo calore naturale durante quel periodo di tempo. Tutti gli animali a sangue caldo ottengono il loro calore in questo modo, dalla conversione di carbonio, non allo stato libero, ma combinato. Questa è la straordinaria prova dei cambiamenti che avvengono di continuo nella nostra atmosfera. In sole ventiquattro ore a Londra vengono prodotte dalla respirazione fino a 5.000.000 di libbre, o 548 tonnellate, di acido carbonico. E dove va tutto questo? Nell'aria.

Quest'ultima affermazione sottolinea l'attualità dell'insegnamento di Faraday: l'enorme quantità di anidride carbonica immessa nell'aria dalla sola respirazione dovrebbe fare capire bene la natura del problema dell'effetto serra provocato dall'uso indiscriminato dei combustibili fossili.

Ma ecco che un fenomeno presentato come negativo viene visto sotto un altro punto di vista:

È meraviglioso scoprire che il cambiamento prodotto dalla respirazione, che sembra così nocivo per noi (non possiamo respirare due volte la stessa aria), è la vera vita e il supporto delle piante e dei vegetali che si sviluppano sulla superficie della terra. È lo stesso anche sotto la superficie, nelle grandi masse di acqua; i pesci e gli altri animali respirano sulla base dello stesso principio, comunque non esattamente a contatto diretto con l'aria aperta. I pesci che ho qui [indicando una vaschetta contenente pesciolini rossi] respirano l'ossigeno che è disciolto dall'aria attraverso l'acqua e producono acido carbonico; essi si muovono in continuazione per produrre quel grande lavoro che rende i regni animale e vegetale subordinati l'uno all'altro. Tutte le piante che crescono sulla superficie della terra, come quella che ho portato come esempio, assorbono il carbonio; queste foglie stanno prendendo il loro carbonio dall'atmosfera alla quale lo abbiamo dato sotto forma di acido carbonico e sono ben sviluppate e prosperose. Date loro un'aria pura come la nostra e in essa non potrebbero vivere; date loro il carbonio con altre sostanze e loro vivranno ed esulteranno. Questo pezzo di legno ottiene tutto il suo carbonio, poiché gli alberi e le piante lo ricavano dall'atmosfera, che, come abbiamo visto, allontana quello che è dannoso per noi ma che allo stesso tempo è salutare per gli altri – ciò che è nocivo per uno è salutare per l'altro. Così siamo diventati dipendenti non soltanto dai nostri simili ma anche da tutti gli

altri esseri viventi, essendo tutta la Natura tenuta insieme dalle leggi in base alle quali ciascuna parte concorre al benessere delle altre. Quando respiriamo, lo stesso processo avviene dentro di noi.

Quando una candela brucia, avviene l'attrazione di parti differenti una verso l'altra.

I manoscritti di Ercolano sono stati scritti con un inchiostro carbonioso e là sono rimasti per 1.800 anni o più, non avendo subito nessun cambiamento provocato dall'atmosfera, pur venendo a contatto con essa in svariate circostanze. È una cosa notevole vedere che la materia, che è destinata a essere un combustibile, attenda a entrare in azione; non comincia a bruciare, ma aspetta di entrare in azione.

Questa attesa è una cosa curiosa e meravigliosa. Le candele – quelle candele giapponesi ad esempio non bruciano immediatamente ma durano anni, forse secoli, senza subire alcun cambiamento.Ho qui una provvista di gas di carbone. Il becco fa uscire il gas, ma vedete che non prende fuoco – viene fuori nell'aria, ma attende finché è caldo a sufficienza prima di bruciare.Se lo scaldo abbastanza, prende fuoco. Se lo spengo, il gas che esce aspetta finché non viene nuovamente acceso. È curioso vedere come sostanze diverse aspettino, alcune finché la temperatura si alzi di poco mentre altre che aumenti di molto.

Anche le seguenti esperienze dimostrano la capacità di Faraday di ampliare immediatamente il ragionamento facendo allo stesso tempo spettacolo.

Ho qui della polvere nera e del fulmicotone; anche queste cose differiscono nelle condizioni in cui bruceranno. La polvere nera si compone di carbonio e altre sostanze che la rendono molto combustibile; il fulmicotone è un altro preparato combustibile. Entrambi aspettano, ma entreranno in attività a differenti gradi di calore o in condizioni diverse. Applicando loro un filo riscaldato, vedremo quale inizia prima a bruciare [toccando il fulmicotone con il ferro caldo]. Vedete che il fulmicotone si è volatilizzato, ma neppure la parte più calda del filo lo è abbastanza per incendiare la polvere nera. Che splendido modo di farvi vedere la differenza di temperatura in cui i corpi agiscono in questo modo! In un caso la sostanza attenderà qualche momento fino a che i corpi a essa collegati siano resi attivi dal calore; ma nell'altro, come nel caso della respirazione, non aspetta tempo.

Siamo alla fine dell'ultima lezione, la frase con la quale Faraday conclude le sei conferenze è all'altezza del rapporto che è riuscito a instaurare con il suo affezionato pubblico di giovani:

Tutto quello che posso dirvi alla conclusione di queste conferenze è che voglio esprimere un augurio che voi possiate, nella vostra generazione, essere paragonati a una candela; che possiate, come essa, brillare con una luce che illumini quelli che vi circondano; che in tutte le vostre azioni, voi possiate testimoniare la bellezza della candela comportandovi in modo onorevole e valido allo scopo di fare il vostro dovere nei confronti dei vostri simili.

Se è vero quello che ha scritto nel seicento il poeta Giovanbattista Marino *È del poeta il fin la meraviglia* possiamo senza dubbio affermare che Faraday è stato anche un grande poeta.

BIBLIOGRAFIA

Faraday M.,1871. *La storia chimica di una candela*, E. Treves, Milano, Italy.

Faraday M., 1982. *La storia chimica di una candela*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma, Italy.

Faraday M., 2002. *The chemical History of a Candle*. Dover Publication, Inc., Mineola, New York, USA.

Meurig Thomas J., 2006. *Michael Faraday: la storia romantica di un genio*. Firenze University Press, Firenze, Italy.