

Stanislao Cannizzaro e o “Sunto di un corso di filosofia chimica”

Ourides Santin Filho

Resumo

O presente trabalho aborda de maneira suscinta o conteúdo presente no texto “Sunto di un corso di filosofia chimica” de Stanislao Cannizzaro, escrito na forma de carta dirigida a seu colega Sebastiano de Luca. O autor apresenta o percurso e a estratégia didática que adota em suas aulas de Química na Universidade de Gênova e está dividido em oito “lições”, desde a aceitação *a priori* da hipótese de Avogadro e Ampère, os resultados já conhecidos que validam essa hipótese, o confronto desta com as ideias de Jacobus Berzelius e sua aplicação na determinação dos pesos atômicos de átomos constituintes de imensa gama de moléculas, bem como a determinação das fórmulas destas. Cannizzaro aponta que tanto os métodos “físicos” (medidas de densidade de vapor de Dumas, quanto a correlação entre os pesos atômicos e a capacidade calorífica dos sólidos, lei de Dulong e Petit), quanto os métodos “químicos” (determinação de massas, percentuais e proporcionalidades atômicas nas reações químicas) fornecem os mesmos valores de pesos atômicos, desde que seja previamente aceita a hipótese de Avogadro e Ampère. A introdução do presente artigo apresenta de modo resumido a vida e obra do químico italiano.

Palavras-chave: Cannizzaro, pesos atômicos, “Sunto”

Abstract

The present work succinctly addresses the content present in the text "Sunto di un corso di filosofia chimica" by Stanislao Cannizzaro, written in the form of a letter addressed to his colleague Sebastiano de Luca. The author presents the path and the didactic strategy that he adopts in his Chemistry classes at the University of Genoa and is divided into eight "lessons", from the *a priori* acceptance of the hypothesis of Avogadro and Ampère, the already known results that validate this hypothesis, the confrontation of this with the ideas of Jacobus Berzelius and its application in the determination of the atomic weights of constituent atoms of an immense range of molecules, as well as the determination of their formulas. Cannizzaro points out that both the "physical" methods (Dumas' measurements of vapor density, as well as the correlation between atomic weights and the heat capacity of solids, Dulong and Petit's law), and the "chemical" methods (determination of masses, percentages and atomic proportionalities in chemical reactions) provide the same values of atomic weights, as long as the hypothesis of Avogadro and Ampère is previously accepted. The introduction to this article presents in a summarized way the life and work of the Italian chemist.

Keywords: Cannizzaro, atomic weights, “Sunto”.

Introdução

Stanislao Cannizzaro é universalmente considerado um dos mais importantes químicos italianos e esse título se deve principalmente ao papel que ele desempenhou na consolidação da teoria atômico-molecular.

Esta teoria, nascida no início do século XIX graças ao trabalho do inglês John Dalton, só foi aceita e adotada pela comunidade de químicos após o esclarecimento definitivo dos conceitos de átomo e molécula, estabelecidos por Cannizzaro a partir da divulgação de seu famoso “Resumo” ou “Manuscrito” ou ainda “Esboço” de um Curso de Filosofia Química (Sunto di um Corso di Filosofia Chimica) feito na Universidade Real de Gênova. Esse texto, escrito na forma de uma carta bastante pessoal encaminhada a

seu colega professor Sebastiano de Luca, então docente na Università di Pisa, foi produzido e publicado originalmente em 1858 na Revista Nuovo Cimento¹. Seu conteúdo viria a mudar a história da determinação dos pesos atômicos, em especial após ser apresentado aos participantes do Congresso de Karlsruhe, ocorrido em 1860 nessa cidade.

Cannizzaro é também reconhecido na área de Química Orgânica, sendo o resultado mais importante de sua pesquisa na área a descoberta, em 1853, de uma reação na qual ele preparou e reconheceu um álcool aromático pela primeira vez. De fato, o aldeído benzóico contido na essência das amêndoas amargas, reagindo com o hidróxido de potássio, transforma-se em ácido benzóico e álcool benzílico, processo ainda hoje conhecido como reação de Cannizzaro. Usando a mesma reação, ele conseguiu preparar vários outros álcoois da mesma série nos anos seguintes.

Ele não foi somente um homem da Ciência, foi também um estadista preocupado com a reunificação italiana. Tornou-se senador, mas, para além de sua atuação na ciência e na política, foi um educador por excelência, adotando um método didático baseado numa abordagem histórica da Química. Viveu numa época de enormes conflitos políticos e sociais na Itália, tendo assumido papéis fundamentais nas áreas de Educação, Administração e Política de uma nação que se encontrava em fase final de consolidação, após turbulências políticas e sociais traumáticas.

Nesse artigo, apresentamos a estrutura e o conteúdo de seu Manuscrito (o qual trataremos simplesmente por “Sunto”), endereçado originariamente a um colega de universidade, mas cujas cópias circularam no último dia do Congresso de Química de Karlsruhe e que despertou enorme interesse, com consequências importantes na compreensão dos processos químicos.

Serão apresentados aqui fragmentos traduzidos por nós diretamente do texto original em italiano, tal qual publicado na revista Nuovo Cimento, em 1858. A tradução e a pontuação foram adaptadas, buscando manter o estilo e sentido dados pelo seu autor, bem como respeitando a estrutura linguística do italiano praticado na época, procurando equilibrar a tradução com nossa língua moderna. Dito isso, vejamos alguns aspectos de sua vida, com foco na sua carreira de professor universitário.

Vida e obra de Cannizzaro

Stanislao Cannizzaro nasceu em Palermo em 13 de julho de 1826. Era o último filho de uma prole de dez filhos e filhas de Mariano e Anna di Benedetto. Os membros da família paterna, originária de Messina

¹ Stanislao Cannizzaro, “Sunto di um corso di filosofia chimica fatto nella Università di Genova; Lettera al Prof. S. de Luca”, *Nuovo Cimento* 7 (1858): 321.

e antigos fiéis à dinastia dos Bourbon², tinham importantes cargos em diversas cidades na Sicília³. O pai era magistrado e Diretor Geral de Polícia dessa ilha, tornando-se, posteriormente, presidente da Grande Corte dos Condes da Sicília. No entanto, as ideias patrióticas e nacionalistas que circulavam na família materna não tardaram a criar raízes no jovem Stanislao.⁴

Seus estudos iniciais foram conduzidos parte em casa e parte nas primeiras séries do Gimnasio Comunale di Palermo, tendo ingressado, em 1836, no real internato Carolina Calasanzio, onde frequentou as aulas de Gramática inferior, Gramática superior, Letras humanas, Retórica e Filosofia. Estudou língua e literatura italiana e latina, língua francesa, álgebra e geometria elementares, além de história grega e romana.

Ingressou na Universidade aos quinze anos, escolhendo estudar medicina dentre as três opções disponíveis (Teologia, Leis e Medicina), dado que lhe interessava o caráter científico desse último curso. Stanislao não se laureou, mas o fato de ter frequentado a disciplina de Fisiologia de Michele Foderà (1792-1848) foi determinante em sua formação. Frequentou também as aulas de Filippo Cesoria (1809-61), professor de química filosófica e farmacêutica. Contudo, as atividades experimentais eram escassas, pela ausência de bons laboratórios na universidade, fato que marcaria toda a vida do cientista palermitano, que passou a empreender uma verdadeira saga para melhorar as condições de ensino de Ciências na Itália. A situação era tal que, parte das atividades experimentais eram conduzidas em sua casa ou na casa dos docentes, o que explica o seu empenho em procurar dotar seus locais de trabalho de estruturas modernas e funcionais, destinadas ao uso de seus estudantes⁵.

Cannizzaro se transfere em 1845 para Napoli, indo morar com sua irmã Angelina. Lá, participa de uma reunião científica na qual se aproxima do físico Macedonio Melloni (1789 – 1854), que o convida a auxiliá-lo em suas pesquisas, introduzindo-o no uso do método experimental. Satisfeito com o aprendiz, Melloni o recomenda a Raffaele Piria⁶ (1815-65), o mais ilustre químico italiano de sua época, que pretendia criar a primeira escola italiana de Química⁷, tendo lhe oferecido o posto de preparador extraordinário em seu laboratório, que Cannizzaro ocupou nos anos acadêmicos de 1845/46 e 1846/47. Piria o convenceu a

² Na época, a Itália não havia se consolidado como nação, estando dividida em diversos reinados, dentre ele o Reino das Duas Sicílias, constituído pela Sicília e pela Calábria, sob a dinastia de Filipe de Bourbon. Cannizzaro presenciou e participou da luta pela independência e reunificação do país, tendo feito parte de incursões militares e assumido cargos administrativos.

³ Stanislao Cannizzaro, "Appunti autobiografici", in: *Scritti vari e lettere inedite nel centenario della nascita*, Roma: Associazione Italiana di Chimica Generale ed Applicata (Roma: Tipografia Leonardo da Vinci, 1926): 3.

⁴ Roberto Zingales, "Stanislao Cannizzaro Patriota, Insegnante, Stadista"; *La Chimica nella Scuola*, 1 (2008): 44.

⁵ Ibid. 45.

⁶ Roberto Zingales, "Raffaele Piria e Stanislao Cannizzaro, dal 1848 al 1860 e oltre: due chimici meridionali nell'Italia Risorgimento e post-unitaria", *Quaderni di Ricerca in Didattica (Science)*, 3 (2012): 67.

⁷ Willian A. Tilden, "Cannizzaro Memorial Lecture"; *J. Chem. Soc.*, 101 (1912): 1677.

completar sua formação em Química junto a Cesare Bertagnini (1827-57) e Sebastiano de Luca (1820-80), com quem dividiria ideais científicos e políticos.

Ele envolveu-se nas questões políticas locais, tendo sofrido perseguição por parte da administração dos Bourbon. Fugiu para Marsilia e posteriormente para a França, indo parar em Paris, onde, por recomendação de Piria e de Auguste Cahours (1813-91), pode frequentar os laboratórios de Eugène Chevreul (1786-1889) no Jardin Royal des Plantes. Lá ele retomou seus estudos de Química sob orientação de Stanislas Cloëz (1817-83), tornando-se assistente de Edmé Fremy (1814-94) e frequentou as aulas de calorimetria de Henri-Victor Regnault (1810-78) no Collège de France. Na ocasião, estreitou contato com os químicos Jean-Baptiste Dumas (1800-84), Eugène-Melchior Péligot (1811-90) e Adolphe Wurtz (1817-84), este último um dos idealizadores do Congresso de Karlsruhe.

Cannizzaro retornou à Itália em 3 de novembro de 1851, como professor de Química, Física e Mecânica no Collegio Nazionale di Alessandria, onde conduziu estudos sobre o aldeído benzóico. Em 1853, tratando o óleo de amêndoas amargas com potassa alcoólica, obteve uma mistura de benzoato de potássio e um composto oleoso cuja temperatura de ebulição era de 204 °C, que ele identificou como álcool benzílico; tratava-se da primeira e clara identificação de um álcool de cadeia aromática⁸.

Em 1855 é convidado a assumir a cátedra de Química na Università di Genova, cujos laboratórios também eram precários e insuficientes.

Casou-se em 24 de setembro de 1857 com a inglesa Harriett Withers, contra a vontade da família da noiva, que não aceitava estrangeiros na família, tendo seu primeiro filho, Mariano, nascido em 18 de junho do ano seguinte.

No ano de 1858 completou suas reflexões teóricas, que foram publicadas na edição de maio da revista Nuovo Cimento⁹, que viria a se tornar o famoso “Sunto di un corso di filosofia chimica”, na forma de carta datada de 12 de março de 1858, dirigida a seu amigo Sebastiano de Luca. O “Sunto” é uma resposta à exigência didática de seu autor de esclarecer a si mesmo e a seus estudantes os conceitos e princípios fundamentais da química, sobre os quais reinava ainda uma grande confusão. Sua abordagem se mostrou eficaz e viria, com efeito, a eliminar boa parte das discordâncias reinantes entre seus pares, especialmente em diferenciar átomos de moléculas, e na validade uso dos chamados “métodos físicos” (determinação da densidade do vapor) e do “método químico” (reatividade, proporções de combinação e valência) na determinação dos pesos atómicos.

⁸ Guido Bargellini, “L’opera di Cannizzaro nella Chimica Organica”, in: *Scritti vari e lettere inedite nel centenario della nascita*, Roma: Associazione Italiana di Chimica Generale ed Applicata (Roma: Tipografia Leonardo da Vinci, 1926): 43.

⁹ Cannizzaro; *Nuovo Cimento*.

O ano de 1860 foi um marco para a Química. Cannizzaro compareceu ao Congresso de Karlsruhe, o qual, a convite de Kekulé, Wurtz e Weltzien, reuniu mais de uma centena de químicos importantes¹⁰ (ainda que com a marcada ausência dos químicos equivalentistas). Reunidos entre os dias 3 e 5 de setembro daquele ano, para confrontarem suas ideias sobre as definições de átomo, molécula, equivalentes e atomicidade (valência) – todos conceitos ainda controversos – a comunidade não chegou a um acordo. Todavia, Cannizzaro, em seu confronto de ideias com Kekulé, chamou a atenção de Julius Lothar Meyer (1830-95), que viria a difundir as ideias do italiano nos países de língua alemã, e de Dmitri Mendeleiev (1834-1907), que fez uso substancial de suas ideias no desenvolvimento da tabela periódica.

Fundo o Congresso, Cannizzaro retornou a Genova, mas envidou esforços para retornar a Palermo, sua terra natal. Com efeito, em 28 de outubro de 1861 ele foi nomeado Professor de Química Orgânica e de Química Inorgânica, além de diretor dos laboratórios anexos à Università di Palermo. Assumiu cargos públicos, tornando-se conselheiro comunal e assessor da junta municipal, dedicando tempo e energia na criação de escolas elementares em sua cidade natal, e se envolvendo pessoalmente na luta pelo acesso às escolas pelas mulheres, além da criação de um Instituto Técnico, visando a formação escolar mínima dos trabalhadores. Lá, ele deu aulas noturnas aos operários e criou o periódico trimestral *Giornale di Scienze Naturali ed Economiche*.

Por conta de uma revolta contra o Império Austro-Húngaro em 1866, Palermo foi colocada sob a guarda de 30 mil soldados. As péssimas condições sanitárias fizeram com que a cidade fosse acometida por uma epidemia de cólera. Em junho de 1867, Cannizzaro assumiu voluntariamente a direção do Ufficio Sanitario Municipale e, com ajuda de seus colegas químicos, preparou grandes quantidades de ácido fênico (fenol), cloreto de cálcio e vitriolato férrico (sulfato férrico), largamente utilizados na desinfecção de ambientes hospitalares e demais lugares públicos. A epidemia foi debelada no outono seguinte, não sem antes ceifar a vida de uma irmã do cientista, infectada quando trabalhava como voluntária na enfermaria de um hospital local.

Em 1870 Cannizzaro foi convidado a assumir a cátedra de Química Orgânica da Università di Roma. Antes de aceitar, ele impôs algumas condições, dentre elas a criação de um laboratório bem equipado, tendo como modelo os das universidades alemãs, que ele havia conseguido introduzir em sua cidade natal. O momento era propício ao ensino de Química, pois a nação, já vivendo a unificação, começava a adquirir consciência da necessidade de bons cursos superiores para a construção de um estado moderno.

O projeto de criação dos aguardados laboratórios foi aprovado em 29 de junho de 1872, dando origem aos laboratórios de Química, Fisiologia e Física da Università di Roma, situados no terreno anexo,

¹⁰ Harold Hartley, "Stanislaο Cannizzaro, F. R. S. (1826-1910) and the First International Chemical Conference at Karlsruhe in 1860", *Notes Rec. R. Soc. London*, 21 (1966): 56.

pertencente ao antigo convento de San Lorenzo, em Panisperna. A nomeação de Cannizzaro como seu diretor entusiasmou Edward Frankland (1825-83), então presidente da Royal Society de Londres, rendendo-lhe um convite, conforme texto abaixo¹¹, que ele atendeu, para proferir uma Faraday Lecture na Instituição, posteriormente publicada nos anais da prestigiada associação¹².

London Nov. 13th 1871.

Dear Professor Cannizzaro

Two years ago the Chemical Society of London instituted a Lectureship in honour of Faraday. The conditions are that the Lectureship shall be held for one year only by a Foreigner who shall deliver one lecture to the Society at any time that may be most convenient to him, between Christmas and Midsummer.

A Bronze Medal is given to the Lecturer and a sum of about £20.

As the president of the Society I write to ask if you will accept this Lectureship for the year 1872 (Dumas was the last Faraday Lecturer). There are many fellows of the Chemical Society who are anxious to hear you and to become personally acquainted with you, and I need scarcely add how much it would gratify the Council and myself if you could accede to this request.

The lecture may be given in either English, French or German.

Hoping for an early and favourable reply

Believe me

Yours sincerely

E. Frankland.

Em Roma, Cannizzaro deu continuidade a suas atividades políticas, sendo nomeado senador do Reino, nas categorias XVIII e XX, referentes a pessoas que tivessem pertencido à Academia de Ciências por pelo menos sete anos, e que tivessem prestado relevantes serviços à Pátria. Encarregado de estudar o funcionamento do monopólio do tabaco adotado na França, ele sugeriu a criação de um laboratório aduaneiro, destinado à análise e aperfeiçoamento da sua produção. Assim, os laboratórios Gabelle entraram em funcionamento em 1º de julho de 1886 que, dirigidos por Cannizzaro, eram divididos em dois setores: análise do tabaco e análise do açúcar bruto e refinado.

Como senador, boa parte de seus esforços foram consumidos na melhoria da Instrução Pública, abrindo diversas escolas públicas, facultando a presença de mulheres nos cursos e criando cursos noturnos para os trabalhadores, além de organizar conferências públicas de divulgação científica.

¹¹ *Scritti vari e lettere inedite nel centenario della nascita*, Roma: Associazione Italiana di Chimica Generale ed Applicata (Roma: Tipografia Leonardo da Vinci, 1926): 337.

¹² Stanislao Cannizzaro, "Considerations on some Points of the Theoretic Teaching of Chemistry", *J. Chem. Soc. Faraday Lectures*, (1872): 941.

Politicamente, foi um liberal moderado, aberto aos avanços sociais, mas disposto a assumir posições e adotar atitudes às vezes não muito populares, a fim de garantir a estabilidade do Estado. Se opôs à extensão do direito ao voto aos que não houvessem frequentado a escola e apoiou ações repressivas contra os que insuflavam a luta de classes. Também se manifestou contra a redução na taxa da farinha de sêmola, atitude claramente antipopular, justificando a necessidade de financiar os avanços sociais conquistados.

Cannizzaro ministrou aulas até pouco antes de sua morte. Faleceu em Roma às nove horas e vinte da manhã do dia 20 de maio de 1910, em seu apartamento contíguo ao laboratório pelo qual tanto lutou, na Via Panisperna, no. 89.

As razões que o levaram a escrever o “Sunto”

Em suas atividades, Cannizzaro vivenciava a principal dificuldade dos químicos da época, a discordância entre os valores dos pesos atômicos determinados por diferentes métodos e para diferentes classes de compostos (orgânicos e inorgânicos). Esse problema se refletia na determinação dos pesos moleculares. A preocupação do químico fica bastante enfatizada em seu discurso proferido na Royal Society, por ocasião de um banquete a ele oferecida ao receber a medalha Copley, em 1891. No seu discurso, ele afirmava¹³

Lecionando na Universidade de Gênova, eu, quando necessitava expor as assim chamadas generalidades da química, me via atormentado por algumas contradições que existiam na aplicação das teorias atômicas e moleculares, da discrepância nos conceitos diretivos da química inorgânica e daquela dita orgânica.

Estimulado e impelido do desejo de desembaraçar esse nó junto a meus estudantes, passei a percorrer, passo a passo, toda a história das doutrinas de Dalton, Wolbert, Thompson, Berzelius, Dumas, Gerhard (sic)...e assim pude descobrir a fonte das contradições e discrepâncias e um modo de eliminá-las, introduzindo algumas modificações nos sistemas de pesos atômicos e nas fórmulas então em uso.

Cannizzaro deixa claro que o fio condutor de sua abordagem didática era a História da Química, e sua angústia se deve ao fato de os valores dos pesos atômicos obtidos pelos chamados “métodos físicos”, em particular o confronto entre as densidades dos gases, resultavam em valores diversos daqueles obtidos pelos “métodos químicos”, via determinação da composição das substâncias por métodos reacionais.

¹³ *Rassegna Contemporanea*, IX (1910): 27.

Essa questão era ainda mais grave porque ela encerra uma divergência capital, ainda existente na época, a diferenciação entre os chamados “átomos físicos” e “átomos químicos”, sendo ambos investigados pelos seus “métodos” respectivos. Essa foi uma das grandes contendas que permeou o Congresso de Karlsruhe, com Cannizzaro se opondo fortemente à posição de Kekulé e defendendo que não havia diferença entre essas entidades¹⁴. Uma das consequências dessa dicotomia era a prática de se adotar duas tabelas de pesos, uma para os compostos inorgânicos e outra, para os compostos orgânicos, com diversas discrepâncias de valores nas duas. Essa foi a principal questão que levou Cannizzaro a elaborar sua abordagem e relatá-la de forma epistolar a seu amigo.

A estrutura geral do texto

O Sunto foi escrito na forma de carta dirigida a seu colega da Università di Genova, Sebastiano de Luca, então professor em Pisa, e aborda oito lições ou aulas. Diversas são as passagens que evidenciam a extrema pessoalidade e intimidade que Cannizzaro tinha com seu destinatário: “Creio que os progressos da ciência...”, “Para conduzir meus estudantes ao mesmo convencimento que tenho...”, “Te mostro com equações a maneira segundo a qual interpresto essas reações.”, “Posteriormente, darei a você esclarecimentos sobre alguns experimentos diretos...”, “Mas, de tudo isso, te farei um relato em outra carta.”¹⁵ Tal pessoalidade poderá ser observada em diversos fragmentos apresentados ao longo desse texto.

O texto se compõe de oito “lições”, cujas “ementas” são apresentadas no quadro que segue.

Quadro 1: o conteúdo das lições do “Sunto”.

Lição	Conteúdo
#1	Propriedades físicas dos gases e as observações experimentais de Gay-Lussac que conduzem à hipótese de Avogadro.
#2	Porque a hipótese de Avogadro é vista com ceticismo, em especial devido à teoria de Berzelius.
#3	Revisão da física dos gases, de Gay-Lussac até Clausius, mostrando que a teoria cinética dos gases suporta a hipótese de Avogadro.
#4	Retomada das teorias químicas, desde Berzelius até os esforços de Dumas para determinação de pesos moleculares usando a densidade de vapor. Os trabalhos de Laurent, Gerhardt, Williamson, Wurtz, Frankland e outros.

¹⁴ Sobre essa contenda, consultar o texto produzido por Adolphe Wurtz, que secretariou os trabalhos de um dos dias do evento. Poucos textos sobre o Congresso de Karlsruhe sobreviveram, e o de Wurtz pode ser encontrado no sítio mantido por Carmen Giunta, da Le Moyne University:

<https://web.lemoynne.edu/~giunta/karlsruhe.html>. (acessado em 17 de fevereiro de 2024).

¹⁵ Fragmentos e páginas do “Sunto” original: “Io credo che i progressi della scienza...” (p. 321); “Per condurre i miei allievi al medesimo convincimento che io ho...” (p.321); “Ti indico com equazioni il modo, secondo cui interpreto queste reazioni.” (p.364); “Più tardi ti darò ragguaglio di alcuni miei esperimenti diretti...” (p.365); “Ma di tutto ciò ti darò um sunto in um’altra lettera.” (p.365).

#5	Aplicação da hipótese de Avogadro na determinação de pesos moleculares. Formulação da “lei dos átomos” e seu uso na determinação de pesos atômicos.
#6	Abordagem dos cloretos, brometos e iodetos voláteis, adequados a serem investigados pelo procedimento visto na aula anterior. Além disso, ele usa os resultados de medidas de calor específico (Lei de Petit e Dulong) como técnica independente na determinação dos pesos, mostrando que seus resultados são concordantes com a técnica da densidade de vapor.
#7	Abordagem dos chamados “radicais monoatômicos e diatômicos” (íons e radicais monovalentes e divalentes), comparando alguns íons com radicais orgânicos.
#8	Abordagem da estequiométrica das reações envolvendo os “radicais” apresentados na aula anterior, e anúncio dos seus próximos passos (estudo dos óxidos e comparação com ácidos, bases e sais).

Antes de adentrar no Sunto, é importante entender a terminologia adotada por Cannizzaro. Para ele, “átomos” são entidades simples, exatamente como adotado por Dalton; são as espécies últimas capazes de participar de combinações químicas. O termo “molécula” ele reserva para as espécies contidas em estado gasoso, ou ainda, a partícula última de uma substância simples (elementar) ou composta, que pode existir em estado livre. Cannizzaro evita os termos “átomos simples” e “átomos compostos” adotados por Dalton. Para ele, o número de átomos na molécula de um elemento não é o mesmo para os diversos elementos (é essa premissa que valida a hipótese de Avogadro, que ele adota a priori). Curiosamente, em sua Faraday Lecture, ele apresenta como autores da hipótese não apenas Avogadro e Ampère, mas também dois outros físicos, Kroenig e Clausius¹⁶, numa clara recorrência à teoria cinética dos gases.¹⁷

Voltando ao “Sunto”, o texto é uma longa apresentação da abordagem que Cannizzaro faz em suas oito lições, na qualidade de docente em Gênova. Destacamos alguns fragmentos que entendemos importantes para a compreensão da estrutura desse texto, conforme tradução nossa do original; são vários os fragmentos apresentados, de modo que, ao final de cada fragmento é indicada a página respectiva no Nuovo Cimento.

Logo no primeiro parágrafo, da primeira lição, ele demarca qual será a teoria fundante de seu trabalho.

Creio que os progressos da ciência alcançados nesses últimos anos têm confirmado as hipóteses de Avogadro, de Ampère e de Dumas, sobre a composição similar dos corpos no seu estado aeriforme, qual seja, que volumes iguais desses [corpos], sejam simples, sejam compostos, contêm igual número de moléculas; no entanto, não o mesmo número de átomos, podendo as moléculas dos vários corpos ou aquelas do mesmo corpo em seus vários estados, conter um variado número de átomos, seja de mesma natureza, seja de natureza diversa (p. 321).

¹⁶ Stanislao Cannizzaro, *J. Chem. Soc.*, 946.

¹⁷ Rudolph Clausius e August Kroenig publicaram trabalhos sobre a teoria cinética dos gases: August Kroenig, "Grundzüge einer Theorie der Gases", *Annalen der Physik*, 3 (1856); Rudolph Clausius, "Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen", *Annalen der Physik*, 176 (1857)

Uma análise mais detalhada já desse primeiro parágrafo permite compreender sua linha de pensamento, que pode ser resumida em três instâncias: i) Cannizzaro anuncia sua adesão à hipótese de Avogadro e ela se aplica também às transformações químicas; ii) ela é válida somente se aplicada às moléculas e não a átomos individuais, pois os gases podem ser constituídos por moléculas contendo mais de uma unidade deles e, iii) as moléculas das substâncias elementares não constituem o limite último de indivisibilidade química.

Cannizzaro via na molécula, e não no átomo, a entidade mais importante a ser investigada, ou seja, sua importância se sobrepõe à do átomo individual, que tinha sido, até então, o protagonista na investigação das transformações e, por extensão, na determinação dos pesos moleculares.

Fiel à história da Ciência em geral e à história da Química em particular, ele aponta qual tem sido sua estratégia didática

Para conduzir meus estudantes às mesmas conclusões que cheguei, procurei colocá-los sobre o mesmo caminho que percorri, isto é, pelo exame histórico da teoria química (p. 321).

A abordagem clássica da Química ainda tinha seus alicerces no trabalho de Lavoisier. Abordava-se o princípio de conservação da massa, levando em conta que as transformações da matéria ocorriam segundo a adição ou subtração de corpos ponderáveis, ou seja, manifestações macroscópicas da matéria e suas transformações. Entretanto, nessa abordagem, apenas o peso antes e depois das reações é o aspecto essencial de uma transformação, sendo informações secundárias seu estado físico ou volume.

Cannizzaro optou, por outro lado, por uma abordagem que recuava ainda mais na História da Ciência e considerou o estado físico das substâncias, levando em conta as propriedades físicas dos gases e, diferentemente dos químicos da época, reportando-se aos físicos, lançando mão também dos trabalhos de Boyle, Ampère, Clausius, Amonton e Gay-Lussac, que haviam quantificado a elasticidade (compressibilidade e expansibilidade) dos gases, propriedades que se mostravam uniformes, isto é, independentes da identidade e comportamento químico desses gases.

(Eu) inicio a primeira lição demonstrando como, a partir das propriedades físicas dos corpos aeriformes e da lei de Gay-Lussac sobre as relações de volume entre os componentes e os compostos, surge quase espontaneamente a hipótese acima apontada, que foi pela primeira vez anunciada por Avogadro e pouco depois por Ampère. Analisando o pensamento destes dois físicos, demonstro que não há nada que esteja em

contradição com os fatos conhecidos, desde que seja feita distinção, como eles fizeram, entre moléculas e átomos (p. 321).

Cannizzaro anuncia aqui que vai diferenciar átomos de moléculas, em consonância com Avogadro e Ampère. Ele confronta essa distinção com as ideias de Dalton e, em especial, com as ideias de Berzelius, de que moléculas de compostos simples seriam monoatômicas, mostrando a contradição que isso gera com a hipótese de Avogadro.

Diferentemente da maioria dos químicos de sua época, ele não via diferença entre os chamados “átomos físicos” e “átomos químicos”, questão que foi alvo de intensa discussão no Congresso de Karlsruhe. Sendo assim, Cannizzaro tornou-se um adepto da determinação de valores de pesos moleculares por medidas de correlação desta propriedade e o calor específico de sólidos e metais (o chamado método de Dulong e Petit) e do método de Dumas, das densidades de vapor.

Na segunda lição, ele apresenta as razões pelas quais a hipótese de Avogadro e Ampère não foi aceita de imediato pela maioria dos químicos de sua época, conforme apresentado nos trechos que seguem.

Examinando a ordem das ideias de Berzelius as quais, por um lado, estão de acordo com a teoria dualista¹⁸ de Lavoisier e de sua própria hipótese eletroquímica e, por outro lado, consciente da teoria de Dalton...eu descobri claramente as razões pelas quais ele foi conduzido a admitir que os átomos, tais quais eram separados nos corpos simples, se reunissem para formar átomos de um composto de primeira ordem e estes, simplesmente reunindo-se, formassem átomos compostos de segunda ordem e porque, não podendo admitir que quando dois corpos resultam em um único composto, uma molécula de um e uma molécula de outro, ao invés de reunir-se em uma só molécula, se transformam em duas de igual natureza, não poderia aceitar a hipótese de Avogadro e de Ampère, a qual conduz, em muitos casos, à conclusão acima indicada. (p.322, destaque nossos).

Os trechos acima em destaque mostram claramente que Berzelius, adepto da teoria de Dalton, não podia admitir que dois gases de corpos simples (elementares), por serem monoatômicos não poderiam, ao se combinarem, formar duas moléculas de um terceiro corpo, agora composto. Por essa razão, o químico sueco não admitia como correta a hipótese de Avogadro, pois esta contrariava sua teoria dualista, ideia reforçada pelo parágrafo que segue, no qual Cannizzaro diferencia a hipótese de Avogadro e Ampère daquela de Berzelius.

¹⁸ Cannizzaro adota esse termo para a teoria de Lavoisier provavelmente num sentido diferente daquele que foi dado por Berzelius em sua teoria, este mais complexo do que as combinações previstas pelo químico francês.

Sigo por demonstrar como Berzelius, não podendo contrariar suas próprias ideias dualísticas, e desejando explicar de alguma maneira as relações simples descobertas por Gay-Lussac [...] foi conduzido a emitir uma hipótese diversa daquela de Avogadro e Ampère, isto é, que volumes iguais dos corpos simples no estado aeriforme contêm igual número de átomos, os quais se associam intactos nas combinações. (p. 322).

No trecho original que segue o fragmento acima e dado logo abaixo, Cannizzaro faz a primeira menção a métodos físicos de determinação de pesos moleculares, apontando que, tendo sido feitas determinações de densidades de vapor de diversos gases, Berzelius precisou restringir sua teoria.

[...] como mais tarde, tendo sido determinadas as densidades de vapor de muitos corpos simples, precisou restringir sua hipótese afirmando que somente os corpos simples que são gases permanentes satisfazem a essa lei; (p.322).

Cannizzaro encerra a segunda lição de uma maneira tal que fica patente o quanto ele acolhia as hipóteses e resultados da física dos gases e clamava por uma distinção entre átomos e moléculas

Encerro esta lição demonstrando que basta distinguir os átomos das moléculas para conciliar todos os resultados experimentais conhecidos de Berzelius, sem precisar recorrer à diferença de constituição entre gases permanentes e aqueles coercíveis, ou entre gases simples e compostos, que entram em contradição com as propriedades físicas de todos os fluidos elásticos. (p.323).

Na terceira lição, o autor é bastante sucinto, resumindo a exposição de seu conteúdo a um único parágrafo

Na terceira lição, passo em revista os vários estudos dos físicos acerca dos corpos aeriformes e demonstro que todos os novos estudos, desde Gay-Lussac a Clausius, confirmam a hipótese de Avogadro e de Ampère que as distâncias das moléculas, enquanto em estado aeriforme, não dependem de sua natureza, nem de sua massa, nem do número de átomos constituintes, mas somente da temperatura em que se encontram e da pressão que suportam. (p.323).

O trecho indica uma abordagem que podemos considerar virtualmente “física” dos gases, inclusive inferindo hipóteses da Teoria Cinética. Tendo sido econômico no Sunto, Cannizzaro explorou o tema com mais profundidade na sua Faraday Lecture, como se depreende no seguinte trecho¹⁹

It needed scarcely be observed that in this rapid glance at the general and special physical characters of bodies in the gaseous state, no account is to be taken of small differences; just as, in the first elementary teaching of astronomy, nothing would be said about the deviations from Kepler's laws. For this purpose, again, Hofmann's forms of apparatus come to our aid: for by striking the senses, they impress the mind with a clear idea of the identity of behaviour, under varying pressure and temperature, of different substances, as soon as they have approached sufficiently near to the state of perfect gas. Some importance must also be attached to demonstrating how the different nature of substances shows itself in the different limit of the gaseous state, that is to say, in the different limits of compressibility at equal temperatures, and of cooling under equal pressures, also in the different weights of equal volumes, that is to say, in the densities. The teacher should endeavour to make beginners clearly understand that the numbers thus obtained express constant ratios when the substances in question have attained the state of perfect gas, and that then, in the ratio of the weights of two substances is constant, the ratio between their volumes must likewise be constant.

O apego de Cannizzaro aos métodos e resultados oriundos da Física se mostra tão forte que ele acaba por utilizar Kepler como exemplo de construção lenta de conceitos. O trecho acima mostra que ele entendia o que conhecemos hoje por “lei limite”, ao apontar as diferenças de comportamento dos gases em condições próximas ou afastadas de sua condição de gás perfeito, ao mostrar que, nas vizinhanças de seus pontos de passagem ao estado aeriforme, suas propriedades podem ser individualizadas. Ele adverte que um professor deve chamar a atenção de seus alunos para o fato de que, quando nas condições de um gás perfeito, “se a razão dos pesos de duas substâncias é constante, a razão entre seus volumes deve ser igualmente constante”. Essa afirmação valida a ideia de que a hipótese de Avogadro e Ampère está de acordo com as propriedades dos gases perfeitos dos físicos.

O autor reforça a importância dos métodos físicos na determinação dos pesos moleculares, conforme o trecho abaixo²⁰

¹⁹ Stanislao Cannizzaro, *J. Chem. Soc.*, 948.

²⁰ Stanislao Cannizzaro, *J. Chem. Soc.*, 953.

It appears to me, therefore, that the time has come for inverting the order hitherto followed, in the teaching of chemistry, with the view of explaining all that concerns the relations of chemical formulae to the weights and volumes of gases: that is to say, instead of starting from chemical criteria to determine the weights of molecules, and then demonstrating their proportionality to the densities of gases, I set out from this latter proposition, which is the theory of Avogadro, Ampère, Krönig, and Clausius, demonstrating it by physical considerations.

A quarta lição é dedicada a uma revisão das teorias químicas posteriores a Berzelius. A grande questão aqui é a determinação dos pesos atômicos. Cannizzaro examina, de início, como Dumas adotou as ideias de Ampère na determinação dos pesos moleculares de compostos orgânicos e as razões pelas quais sua proposta não avançou. Segue apresentando as ideias de Berzelius e o confronto destas com as de Dumas, as primeiras adotadas para a determinação dos pesos dos compostos inorgânicos, bem como as de Dumas aplicadas à determinação dos pesos dos compostos orgânicos, até a tentativa de unificação dos métodos, feita por Laurent e Gerhardt. O Sunto não apresenta essas discussões de modo detalhado, mas os originais desses autores estão disponíveis.^{21,22}

A quarta lição do Sunto é concluída com a reafirmação da importância da adoção da hipótese de Avogadro e Ampère na determinação e comparação de valores de pesos atômicos

Do exame histórico das teorias químicas, além dos estudos dos físicos, extraio a conclusão de que, para pôr em harmonia todos os ramos da química, é mister voltar a aplicar completamente a teoria de Avogadro e de Ampère para comparar os pesos das moléculas e seus números; propondo-me em seguida a demonstrar que as conclusões que se obtém são sempre concordantes com as leis físicas e químicas até agora descobertas. (p.324).

Encerradas com a quarta lição as discussões e confrontos teóricos, Cannizzaro anuncia que vai iniciar a aplicação da hipótese de Avogadro e Ampère na determinação dos pesos moleculares.

²¹ Para detalhes dos trabalhos de Dumas, consultar: Jean-Baptiste Dumas, "Mémoires sur quelques points de la Théorie atomistique", *Annales de Chimie et de Physique*, 33 (1826): 337 e "Dissertation sur la Densité de la Vapeur de quelques corps simples" *Annales de Chimie et de Physique*, 50 (1832): 170. Para os trabalhos de Berzelius ver: Jöns Jakob Berzelius, "Essay on the causes on Chemical Proportions, and some Circumstances relating to them: together with a short and easy Method of expressing them", O trabalho de Berzelius aparece fragmentado em três partes na obra citada na nota acima, tendo sido publicado no vol. 13 (jan.), p. 51-61; no vol. 14 (fev.), p. 93-105; no vol. 16 (abr.), p.244-256; e no vol. 16 (mai.), p. 353-363, todos do ano de 1814. Sobre a controvérsia na determinação dos pesos atômicos ver Alan J. Rocke, "Atoms and Equivalents: The Early Development of the Chemical Atomic Theory", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9 (1978): 225.

²² Para os trabalhos de Gerhardt e Laurent ver: Rocke, A.; op. cit.

Na sua quinta lição, ele reforça que os pesos das moléculas são proporcionais às densidades dos corpos no estado aeriforme e adverte que, se pretendemos que as densidades de vapor exprimam os pesos das moléculas, é fundamental referir essas densidades àquela de um gás simples, e não à uma mistura de gases, como o ar.

A partir desse ponto torna-se imperioso estabelecer um peso atômico padrão, que ele o faz a partir de um peso molecular de referência. Isso evidencia uma inversão na hierarquia das entidades químicas em estudo, privilegiando as moléculas, e não os átomos, nessas determinações.

O hidrogênio, por ser o gás mais leve conhecido, ainda era uma escolha natural, como era natural atribuir a esse gás o peso atômico de uma unidade, como adotado por Dalton e todos os demais pesquisadores que o seguiram. No entanto, a partir da interpretação molecular da lei de Gay-Lussac, Cannizzaro consolida uma distinção entre átomo e molécula, e o indício de que a molécula de hidrogênio seria constituída por dois átomos iguais, passíveis de serem separados em reações químicas.

Feitas as inferências acima, ele atribui peso dois à molécula de hidrogênio e, consequentemente, peso unitário ao átomo de hidrogênio

Sendo o hidrogênio o mais leve dos gases, ele pode ser adotado como unidade para se relacionar com a densidade dos demais corpos aeriformes os quais, nesse caso, exprimem os pesos das moléculas comparados ao peso da molécula de hidrogênio tomada como = 1. Eu prefiro tomar como unidade comum aos pesos das moléculas e de suas frações, o peso não de uma molécula inteira, mas de meia molécula de hidrogênio; assim, relaciono a densidade dos vários corpos aeriformes àquela do hidrogênio, tomada como = 2. (p.325).

Percebe-se, no fragmento acima, que Cannizzaro não adota o termo “átomo”, mas “meia molécula”, cujo uso não estava consolidado na época.

Após essa explanação, ele apresenta no Sunto uma tabela de densidades (pesos) comparativos a partir da adoção dos dois pesos do hidrogênio como referência.

NOMI DEI CORPI	DENSITA' ossia pesi di un volume, fatto = 1 quello di un vo- lume d' idrogeno, ossia pesi delle molecole com- parati al peso di una in- tera molecola d'idrogeno considerata come unità .	DENSITA' riferite a quella del- l'idrogeno = 2, ossia pesi delle molecole comparati al peso della mezza molecola d'idrogeno preso per unità .
Idrogeno	1	2
Ossigeno ordinario ..	16	32
Ossigeno elettrizzato ..	64	128
Solfo sotto 1000°	96	192
(1) Solfo sopra 1000 ..	32	64
Cloro	35,5	71
Bromo	80	160
Arsenico	150	300
Mercurio	100	200
Acqua	9	18
Acido clorídrico	18,25	36,50 (*)
Acido acetico.	30	60

(1) Questa determinazione è stata fatta da Bineau, ma credo richieda una conferma.

(*) I numeri esprimenti le densità, sono approssimativi; si giunge ad una approssimazione maggiore, confrontandoli con quelli dedotti dai dati chimici, e ponendoli d'accordo.

Figura 1: tabela de densidades (pesos) publicada no Sunto, a partir da hipótese de peso do hidrogênio = 1 ou peso do hidrogênio = 2. Fonte: Sunto, p.325.

Os valores da coluna à direita mostram o sucesso obtido por seu autor na determinação dos pesos moleculares. Com esse procedimento, as fórmulas dos compostos ficavam associadas a números concretos e mais fáceis de se determinar no laboratório (o peso de volumes iguais de gases diferentes) do que a necessidade de ter que administrar dois, três ou quatro volumes de gases diferentes.

A eficácia desse método pode ser verificada a partir do seguinte problema posto por Cannizzaro

Pressuponho que o estudo de vários compostos deva se iniciar determinando os pesos de suas moléculas ou seja, suas densidades, no estado aeriforme, sem se preocupar sequer em saber se são simples ou compostos.

Em seguida procede-se ao exame da composição dessas moléculas. Se o corpo não pode ser decomposto, estamos restritos a admitir que sua molécula é constituída pelo peso de uma mesma qualidade de matéria. Se o corpo é composto, se faz sua análise

elementar, ou seja, se descobre as relações constantes entre seus pesos componentes; para tanto, divide-se o peso da molécula em parte proporcionais aos valores relativos dos pesos de seus componentes, e assim se obtém suas quantidades na molécula do composto, referidas à mesma unidade à qual são referidos os pesos de todas as moléculas. Com este método, preparei o seguinte quadro (p. 326).

Segue figura contendo o quadro original que aparece no Sunto.

NOME DEL CORPO	PESO di un volume, ossia peso della molecola riferito al peso della mezza molecola di idrogeno = 1.	PESI componenti un volume, ossia pesi componenti la molecola, tutti riferiti al peso della mezza molecola d'idrogeno = 1.
Idrogeno	2	2 d' idrogeno.
Ossigeno ordinario .	32	32 d'ossigeno.
Ossigeno elettrizzato .	128	128 d'ossigeno.
Solfo sotto 1000° . .	102	102 di solfo.
Solfo sopra 1000° (?) .	64	64 di solfo.
Fosforo	124	124 di fosforo.
Cloro	71	71 di cloro.
Bromo	100	100 di bromo.
Jodo	254	254 d'iodo.
Azoto	28	28 d'azoto.
Arsenico	300	300 d'arsenico.
Mercurio	200	200 di mercurio.
Acido cloridrico . . .	36,5	55,5 di cloro 1 d'idrogeno.
Acido bromidrico . .	81	80 bromo 1 *
Acido iodidrico . . .	128	127 d'iodo 1 *
Acqua	18	16 d'ossigeno 2 *
Ammoniaca	17	14 d'azoto 3 *
Idrogeno arsenicato .	78	73 d'arsenico 5 *
Idrogeno fosforato .	35	32 di fosforo 3 *
Calomelano	235,5	85,5 di cloro 200 di mercurio.
Sublimato	271	71 * 200 *
Cloruro d'arsenico .	181,5	106,5 * 73 d'arsenico.
Protocoloruro di fosforo	158,5	106,5 * 32 di fosforo.
Percloruro di ferro . .	525	215 * 112 di ferro.
Protossido d'azoto . .	44	16 d'ossigeno 28 d'azoto.
Biossido d'azoto . .	50	16 * 14 *
Ossido di carbonio . .	28	16 * 12 di carbonio.
Acido carbonico . . .	44	32 * 12 *
Etereno	28	4 d'idrogeno 24 *
Propilene	42	6 * 36 *
Acido acetico idrato .	60	4 * 52 d'ossig. 24 di carb.
Acido acetico anidro .	102	6 * 48 48
Alcool	46	6 * 16 24
Etere	74	10 * 16 48

Figura 2: quadro referido no fragmento anterior, contendo os pesos moleculares obtidos por Cannizzaro adotando “meia molécula” de hidrogênio com peso 1 e por análise da composição percentual das moléculas. Fonte: Sunto, p.327.

O quadro mostra que o método proposto resulta nos valores corretos tanto para compostos inorgânicos quanto para compostos orgânicos, tornando-se procedimento unificador de uma dicotomia até então incômoda e desafiadora entre as duas classes de compostos.

Feitos os encaminhamentos acima, Cannizzaro convidava seus alunos a refletir por um método segundo o que podemos hoje classificar como um “experimento mental” ou “experimento de pensamento”²³ (Cannizzaro não adotou esses termos), conectando os aspectos macroscópicos e submicroscópicos da matéria, propondo a eles a seguinte reflexão

Para sedimentar bem [esse procedimento] em meus estudantes, recorro a um artifício extremamente simples, dizendo: suponham que se demonstrasse que meia molécula de hidrogênio pesasse um milionésimo de miligrana, então, todos os valores do quadro precedente tornam-se números concretos, exprimindo em milionésimos de miligramas os pesos concretos das moléculas e de seus componentes; o mesmo se daria se a unidade comum tivesse um outro valor concreto e, assim, conduzo-os a elaborar um conceito bem claro da comparabilidade destes números, qualquer que seja o valor concreto da unidade comum (p. 328).

O autor afirma que, uma vez que o procedimento e os resultados acima se tornam familiares aos estudantes, não é difícil conduzi-los à descoberta da lei que resulta dessas comparações

Comparem, digo a eles, as várias quantidades do mesmo elemento, contidas seja na molécula do corpo livre, seja naquelas de todos os seus diversos compostos, e não se poderá escapar da seguinte lei: as várias quantidades do mesmo elemento contidas em diversas moléculas são todas múltiplos inteiros de uma mesma quantidade, as quais, entrando sempre inteira, se deve razoavelmente chamar de átomo. (destaque do autor, p. 328).

O trecho destacado pelo próprio autor no texto acima é o primeiro enunciado do que se tornou conhecido como “lei dos átomos” de Cannizzaro, reforçada pelo seguinte trecho

Se a alguém parecer demais hipotético o método de se encontrar os pesos das moléculas, compare, então, a composição de volumes iguais dos corpos no estado aeriforme em iguais condições; não se poderá fugir da seguinte lei: as várias quantidades do mesmo

²³ Sobre Experimentos de Pensamento em Ciências Naturais ver: James Robert Brown, *The Laboratory of the Mind: thought experiments in the natural sciences* (Londres: Routledge, 1991).

elemento contido em volumes iguais, seja do corpo livre, seja de seus compostos, são todas múltiplas inteiras de uma mesma quantidade. (destaque do autor, p. 330).

...

A lei acima anunciada, por mim chamada de lei dos átomos, contém em si aquela lei das proporções múltiplas e aquela das relações simples entre os volumes, o que demonstro amplamente na minha lição. (p.331).

A adoção da hipótese de Avogadro e Ampère dá a Cannizzaro a possibilidade de estabelecer uma “definição operacional macroscópica” de átomo (densidades de gases diferentes, entidades com pesos diferentes) e, ao mesmo tempo, um critério infalível para a determinação dos pesos destes e das moléculas. Ela é uma regra fundamental que foi, na essência, acrescentada por Cannizzaro ao conjunto de ferramentas disponíveis aos químicos desde Dalton, na determinação dos pesos. Dalton tinha à disposição apenas uma correlação (aquela entre os pesos nas diferentes combinações químicas), e defrontou-se com duas incógnitas (os pesos atômicos e a composição das substâncias). Cannizzaro havia “aumentado o número de equações” independentes disponíveis, adotando a hipótese de seu conterrâneo Avogadro e comparando os pesos de um mesmo número de moléculas de gases diversos.

A partir dessa nova ferramenta foi possível determinar, inclusive, o peso do carbono, sem que se tivesse acesso à “molécula” de carbono elementar, logo, sem investigar suas propriedades. A tabela dada na fig. 3 apresenta alguns compostos de carbono investigados e a atribuição de seu peso atômico como 12 unidades.

NOMI DEI COMPOSTI DI CARBONIO	PESI delle mole- cole riferiti all' atomo d' idrogeno	PESI dei componenti le molecole riferiti al peso dell' atomo d' idrogeno preso per uni- tà.	FORMULE, facendo $H=1;C=12$ $O=16;S=32$
Ossido di carbonio	28	12 Carbonio 16 Ossigeno	C_2O
Acido carbonico ..	44	12 * 32 *	CO_3
Solfuro di carbonio	76	12 * 64 Solfo	CS_2
Gas delle paludi ..	16	12 * 4 Idrogeno	CH_4
Eterene	28	24 * 4 *	C_2H_6
Propilene	42	36 * 6 *	C_3H_6
Etere	74	* 10 Idrog. 16 Ossig. ec. ec.	$C_4H_{10}O$

Figura 3: pesos de diferentes compostos contendo carbono. Note que o peso deste fica determinado sem a necessidade de se conhecer quantos átomos de carbono haveria em sua “molécula”. Fonte: Sunto, p.332.

No entanto, o aspecto mais desafiador que se apresentava não era esse. Lembremos que, na época, a “teoria dualista” de Berzelius era o modelo dominante na compreensão da estrutura molecular. Segundo essa teoria, os átomos se agrupavam por diferenças de carga elétrica, de modo que só haveria ligação química entre átomos ou grupos de átomos de cargas opostas²⁴. Essa teoria inviabiliza a hipótese da existência de moléculas constituídas por átomos iguais e obrigava que moléculas de elementos químicos fossem necessariamente monoatômicas (crença também adotada por Dumas).

O modelo de Berzelius foi motivo de forte controvérsia entre Cannizzaro e seus pares no Congresso de Karlsruhe²⁵. Para o palermitano, as moléculas dos gases elementares (hidrogênio, oxigênio e cloro) além do fósforo e do arsênio comportavam dois ou mais átomos idênticos, possibilidade aceita por Avogadro, pois explicava a lei dos volumes de Gay-Lussac, e aceita por Cannizzaro como uma consequência da lei dos átomos. Assim, ficava clara a distinção entre átomo e molécula: uma molécula é a menor parte de uma substância que se pode encontrar livre na natureza, composta por dois ou mais átomos, iguais ou diferentes; estes, por sua vez, são as menores partículas de um elemento, componente das moléculas, e capazes de participar de reações químicas sem, entretanto, existirem de modo isolado em todos os casos.

Uma das consequências dessa distinção tornada clara por Cannizzaro é a atribuição de um pleno significado às fórmulas químicas. Os símbolos químicos e suas proporções numa fórmula ficam claramente associados às quantidades dos átomos presentes e aos seus pesos e, como consequência, a própria linguagem se torna instrumento de conhecimento, ao associar fatos experimentais (pesos atómicos e moleculares) às suas interpretações (átomos e moléculas) e símbolos. A tríade universo macroscópico, universo microscópico e linguagem, segundo o modelo de Johnstone²⁶, ficava contemplada.

Uma vez que os estudantes houvessem se apoderado dos conceitos de átomo e molécula, Cannizzaro passava a discutir os métodos experimentais para a determinação de seus pesos, examinando seus pontos fracos e apontando a necessidade de recorrer a métodos auxiliares, como o calor específico, a lei do isomorfismo ou as analogias, verificando os resultados sempre à luz da hipótese de Avogadro.

O conteúdo da quinta lição, relativamente detalhado acima, dá as linhas gerais da abordagem de Cannizzaro ao problema da determinação dos pesos atómicos pela aplicação da hipótese de Avogadro e Ampère. O texto prossegue com longas discussões nas quais apresenta resultados experimentais e seus modos de obtenção de compostos contendo hidrogênio, oxigênio, enxofre e os ácidos dos halogênios, sempre comparando com previsões de outros pesquisadores.

²⁴ Jöns Jakob Berzelius, *Théorie des Proportions Chimiques et Table Synoptique des Poids Atomiques* (Paris: Didot) 1835.

²⁵ Ourides Santin Filho, “O Congresso de Karlsruhe: pressupostos e controvérsias”, *História da Ciência e Ensino*, 27 (2023): 22.

²⁶ Alex H. Johnstone, “The Development of Chemistry Teaching”, *The Forum*, 70, (1993).

Na sexta lição, há uma exaustiva discussão acerca da composição dos cloretos, brometos e iodetos. Em seu início, ele explica

Uma vez que a maior parte de seus compostos são voláteis e que conhecemos suas densidades de vapor no estado aeriforme, não pode restar qualquer dúvida sobre os pesos aproximados de suas moléculas e, por consequência, as quantidades de cloro, bromo e iodo que elas encerram. Sendo essas quantidades sempre múltiplos inteiros dos pesos de cloro, bromo e iodo contidos nos ácidos clorídrico, bromídrico e iodídrico, isto é, o peso de suas meias moléculas, não pode restar qualquer dúvida sobre os pesos atômicos destes corpos e, portanto, sobre o número de átomos existentes em suas moléculas, das quais sejam conhecidos os pesos e as composições. (p. 336).

O foco da sexta lição acaba sendo a determinação das quantidades de átomos de halogênio e de outras espécies a eles ligadas (capacidade de saturação ou, em essência, a valência). Neste ponto, Cannizzaro anuncia que vai se utilizar desse problema para ensinar seus alunos como se pode usar métodos alternativos para determinação de pesos atômicos.

Quando, de outros compostos desses elementos dos quais se deseja determinar o peso atômico, não se pode determinar a densidade de vapor, então é necessário recorrer a outros critérios [...]. O que exponho em seguida serve para ensinar meus estudantes o método de se empregar estes outros critérios para verificar ou determinar os pesos atômicos e a composição das moléculas. (p.336).

Cannizzaro se apoia especialmente na lei de Dulong e Petit, da correlação entre o peso atômico e a capacidade calorífica dos sólidos, considerando especialmente os cloretos de mercúrio e haletos de sódio, potássio, prata, além desses próprios metais e mais o cobre, zinco, chumbo, ferro, manganês, estanho magnésio, ouro, bário e outros.

A sétima lição é dedicada aos “radicais” compostos monoatômicos e diatômicos (Cannizzaro adota o termo biatômico), isto é, o cianogênio e os radicais alcoólicos.

A primeira questão colocada na sétima lição é como descobrir a capacidade de saturação de um radical. O autor sugere o seguinte procedimento

Para descobrir a capacidade de saturação de um radical, convém iniciar por examinar uma molécula no qual ele está combinado com um radical monoatômico; assim, para os radicais eletronegativos começo examinando os compostos com hidrogênio ou com outro radical eletropositivo monoatômico e vice-versa, para os radicais eletropositivos, examino

os compostos com cloro, com bromo e com iodo. Os radicais eletronegativos que compõem uma molécula com somente um radical hidrogênio são monoatômicos, aqueles que se combinam com 2 de hidrogênio são biatômicos e assim por diante. Vice-versa, os radicais eletropositivos são monoatômicos se se combinam com somente um átomo de corpo halógeno, biatômico se a dois. (p.351-2).

A investigação da capacidade de saturação dos diversos radicais leva Cannizzaro a algumas conclusões acerca de alguns radicais orgânicos²⁷

Com essa regra, estabeleço

1º Que o cianogênio, CAz, é um radical eletronegativo monoatômico, e a molécula de cianogênio livre contém duas vezes a quantidade de carbono e azoto contidos na molécula dos monocianetos e que, portanto, o cianogênio, CAz, se comporta em tudo como o átomo de cloro, Cl;

2º Que o cacodílio, C²H⁶As, o metila CH³, o etila, C²H⁵ e os demais radicais homólogos e isólogos são, assim como o átomo de hidrogênio, monoatômicos e, como este último, não podem por si só constituir uma molécula, mas devem associar-se a outro radical monoatômico, seja simples, seja composto, seja de mesma natureza, seja de natureza diversa;

3º Que o eterínio²⁸ C²H⁴ e o propileno, C³H⁶ são radicais biatômicos análogos aos radicais dos sais mercúricos e cúpricos e àqueles dos sais de zinco, de chumbo, de cálcio, magnésio etc. e que estes radicais formam, com o átomo de mercúrio, somente uma molécula. (p.352).

Cannizzaro explora nessa lição a formação de compostos entre metais, em especial mercúrio, chumbo, zinco e os alcalinos com o cloro e com radicais orgânicos.

A oitava e última lição é dedicada à comparação do comportamento reacional de radicais monoatômicos e biatômicos. Antes dessa discussão, Cannizzaro apresenta regras que vai utilizar na representação de equações das várias espécies de reações, o que acaba por facilitar muito a interpretação de suas tabelas contendo reações (fig. 4).

²⁷ Cannizzaro apresenta no seu texto original a fórmula mínima para o cacodílio ou tetrametildiarsênio.

²⁸ Antigo nome para o eteno.

$\text{Hg}\left\{\begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix}\right.$	$+ \text{AgC}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger}$	$= \text{AgCl}$	$+ \text{Hg}\left\{\begin{matrix} \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \\ \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \end{matrix}\right.$
1 molécula di deutoclororo di mercurio	2 molécula di acetato di argento	2 molécula di cloruro di argento	1 molécula di acetato di mercurio
$\text{Hg}\left\{\begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix}\right.$	$+ \text{AgC}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger}$	$= \text{AgCl}$	$+ \text{Hg}\left\{\begin{matrix} \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \\ \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \end{matrix}\right.$
•	1 molécula di acetato ed 1 di benzoato di argento	•	1 molécula di benzoato di mercurio
$\text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\left\{\begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix}\right.$	$+ \text{AgC}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger}$	$= \text{AgCl}$	$+ \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\left\{\begin{matrix} \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \\ \text{C}^{\cdot}\text{H}^{\circ}\text{O}^{\ddagger} \end{matrix}\right.$
1 molécula di cloruro di etereno	•	•	1 molécula di benzacetato di etereno

Figura 4: Representação de reações de dupla troca, conforme tabela no Sunto, p.363.

O exame rápido da tabela acima mostra como Cannizzaro lidou com a nomenclatura das reações químicas considerando as moléculas como constituídas por radicais monoatômicos e biatômicos. São representações bastante inteligentes de reações de dupla troca, que permitem avaliar não apenas a capacidade de saturação dos radicais como a sua dinâmica nos processos reacionais. Símbolos químicos também foram objeto de intensa discussão no Congresso de Karlsruhe, e o trabalho do cientista palermítano permitiu jogar alguma luz também sobre essa questão.

Finda essa apresentação resumida do conteúdo do “Sunto”, descortina-se um autor que procurou ser claro e rigoroso, apresentando sua proposta por um percurso tão racional que não deixava margem de dúvida acerca da validade de seu método e da necessidade de aceitação da hipótese de Avogadro e Ampère. Para além disso, o texto é permeado com uma preocupação didática em bem atender seus estudantes, que trouxe como consequência mais ampla o esclarecimento de profundos aspectos que se mostraram unificadores do pensamento químico na sua época.

Considerações finais

A leitura do Sunto deixa evidente dois aspectos importantes em Cannizzaro: o primeiro deles, é a atenção dada às questões de natureza didática. O segundo é o detalhamento e o uso abundante de exemplos que suportam suas propostas. O Sunto não é um trabalho científico. Pelo contrário, é uma alentada carta destinada a um amigo, que busca explicar como o químico palermítano cuidava da educação de seus estudantes.

É possível entrever um professor preocupado em fazer com que seus estudantes compreendessem os conceitos abordados oferecendo-os descrições de experimentos e interpretações dos resultados, sempre segundo um percurso via História da Química. Essa preocupação se manifesta claramente ao se ler o texto, mas ele evidencia suas intenções mais claramente no discurso proferido quando soube de sua escolha para receber a medalha Copley, já como um pesquisador consagrado.

O ano era 1891. Seus colegas da Academia dos Linceis (Accademia dei Lincei) e da Real Universidade de Roma ofereceram ao famoso químico um jantar no restaurante Cornelio dal Corso, na noite de 10 de dezembro daquele ano. Ao final do jantar, Cannizzaro pronunciou um discurso que viria a ser publicado na revista Rassegna Contemporanea. Numa fala muito agradecida, ele expõe toda a sua preocupação em desenvolver uma didática que facilitasse a compreensão por parte de seus estudantes. Referindo-se ao Sunto, ele esclarecia²⁹

Não será uma surpresa vocês ouvirem que eu jamais tive a ambição de ser um reformador da ciência, mas aspirei, e aspiro, à glória de ser um zeloso docente.

As coisas contidas no meu livreto não foram pensadas e escritas com o propósito de contribuírem com o progresso da ciência, mas foram o fruto dos esforços feitos por mim para expor claramente aos meus estudantes as doutrinas fundamentais da química.

Ensinando na Universidade de Gênova, eu, quando devia expor as generalidades da química, me sentia atormentado por algumas contradições que surgiam quando da aplicação das teorias atômicas e moleculares, da discrepância nos conceitos diretivos da química dita inorgânica e daquela dita orgânica.

Ressaltamos o quanto fica evidente sua estratégia de fazer uma abordagem histórica dos conceitos, a fim de facilitar sua compreensão e o quanto ele manifesta satisfação ao ver que seus estudantes o comprehendiam³⁰

Estimulado e impelido do desejo de desembaraçar esse novelo aos meus estudantes, me pus a percorrer passo a passo as doutrinas de Dalton, Wolbert, Thompson, Berzelius, Dumas, Gherhard (sic) e assim pude descobrir as razões das contradições e discrepâncias e o modo de eliminá-las, [...].

Senti verdadeira satisfação quando, expondo tais coisas nas minhas aulas, me dei conta que era a primeira vez que meus estudantes verdadeiramente me comprehendiam.

²⁹ Rassegna Contemporanea, 405-408.

³⁰ Ibid., p.406.

Cannizzaro não gostava dos compêndios de química de sua época. Isso fica manifesto quando ele justifica a produção de seu documento na forma epistolar³¹

Tendo me afastado muito dos livros em uso corrente, acreditei ser conveniente exprimir aos meus colegas na Itália as ideias que havia adotado no meu modo de ensinar. Escrevi, por essa razão, sob a forma de uma carta a S. de Luca, então professor em Pisa o resumo do curso de Filosofia Química por mim oferecido, tendo essa carta sido publicada no Nouvo Cimento.

O autor destaca o prestígio de seu documento ter sido publicado em importante periódico alemão da época, graças à intervenção de Lothar Meyer³²

A publicação aconteceu no momento em que todos os químicos sentiam o mesmo desejo que eu havia sentido, de eliminar as contradições nos conceitos diretivos das várias partes da ciência.

A tal fim reuniu-se um Congresso internacional de química em Karlsruhe. Dele participei e expus as modificações por mim adotadas e publicadas naquele resumo.

Assim que o afortunado libreto foi introduzido entre os químicos, ele fez seu caminho e agora, 33 anos depois, teve a honra de ser inserido, em sua versão em alemão, na coleção de memórias clássicas de ciências exatas que se publica na Alemanha...

Pouco à frente, Cannizzaro reforça ainda mais a importância de uma abordagem histórica da ciência, sempre com vistas à boa formação dos estudantes³³

Esse exemplo dado aos jovens estudantes convence-nos de que não é mal-empregado o tempo consumido para bem maturar as coisas que devem a eles ser apresentadas [...]. Convence-nos também que, no estado atual da química, a qual está longe da perfeição alcançada pela mecânica celeste e pela mecânica racional, não há melhor modo de se fazer uma crítica às várias hipóteses em curso e dos vários conceitos em discussão, do que indagar sua origem e seguir sua evolução.

³¹ Ibid.

³² Lothar Meyer, "Anmerkung; In Abriss eines Lehrganges der theoretischen Chemie vorgetragen an der K. Universität Genua; Cannizzaro, S.", citado por Carmen Giunta, "Insights into the Chemical and Pedagogical Philosophy of Stanislao Cannizzaro from his Faraday Lecture"; *Preceptors in Chemistry; ACS Symposium Series*, 1273 (2018).

³³ *Rassegna Contemporanea*, 407.

Como o próprio autor afirma, ele não pretendia ser um reformador da ciência, mas tão somente um bom docente. No entanto, a leitura detalhada de seu Sunto e as consequências posteriores de sua divulgação aproximam-no do título de um reformador da Química. Se ele foi, de fato, um reformador ou apenas alguém que trouxe forte contribuição para o longo processo de amadurecimento dos métodos de determinação dos pesos atômicos não é algo que nos compete julgar, no entanto, seu envolvimento pessoal com a docência, bem como seu envolvimento social na busca de uma melhor qualidade no ensino de Química em seu país natal, já o colocam no pedestal dos grandes educadores.

SOBRE O AUTOR:**Ourides Santin Filho**

Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá

santin@uem.br

Artigo recebido em 22 de fevereiro de 2025
Aceito para publicação em 22 de abril de 2025



Todo conteúdo desta revista está licenciado em Creative Commons CC By 4.0.