

Química

Teoria atômica: histórico

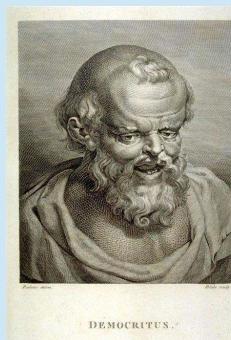
Prof. Diego J. Raposo
UPE – Poli
2025.1

Gregos

- A primeira teoria da matéria conhecida que mais se assemelha a que temos atualmente foi desenvolvida por filósofos gregos entre 500 e 300 anos antes da era comum;
- Anaxágonas, Demócrito e Leucipo acreditavam que toda matéria era composta de partículas indivisíveis chamadas de átomos, e que as propriedades da matéria advinham das propriedades desses átomos.

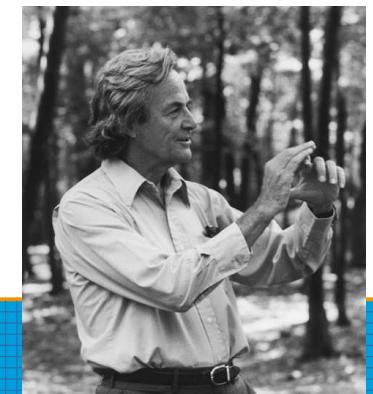
Nada existe senão átomos e vazio; tudo mais é opinião.

Demócrito de Abdera



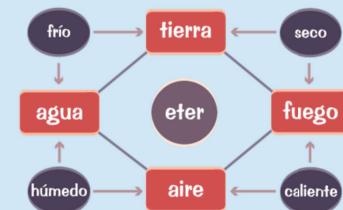
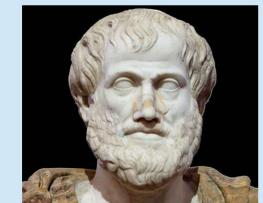
Se tivéssemos que nomear a suposição mais poderosa de todas, que leva alguém a tentar entender a vida continuamente, seria a de que todas as coisas são feitas de átomos, e que tudo o que os seres vivos fazem pode ser entendido em termos dos movimentos e oscilações dos átomos.

Richard P. Feynman



Gregos

- A teoria foi parcialmente esquecida devido ao grande sucesso da descrição de Aristóteles na idade antiga e média. Nela, a matéria seria uma composição de 5 elementos: **água, ar, terra, fogo e éter**;
- Tal teoria apelava para os sentidos humanos, tornando-se muito influente na Europa e Oriente médio, e foi bastante influente na medicina, por exemplo;
- Ambas as teorias **carenceiam de respaldo experimental**. Apenas com a descrição de Dalton podemos dizer que elaborou-se uma teoria com base em resultados experimentais.



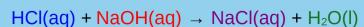
Leis de Lavoisier

- No século XVII algumas tendências foram observadas em experimentos repetidos. A primeira dessas leis ponderais foi chamada de Lei de Lavoisier, ou lei da conservação da massa. Ela foi enunciada considerando que qualquer reação química que ocorre em um sistema fechado (isto é, de onde os reagentes e produtos não podem sair) a massa total é constante.



$$\text{Massa de } 4 \text{ g} + 32 \text{ g} = 36 \text{ g}$$

Massa dos reagentes (hidrogênio + oxigênio) é igual à massa do produto (água)



$$\text{Massa de } 36,5 \text{ g} + 40 \text{ g} = 58,5 \text{ g} + 18 \text{ g}$$

Massa total dos reagentes (ácido + base) é igual à massa total dos produtos (sal + água)

Na natureza nada se cria, nada se perde; tudo se transforma.

Antoine Laurent Lavoisier



Lei de Proust

- A segunda lei ponderal é chamada de Lei de Proust, ou lei das proporções definidas;
- Elá resultou da verificação de que ao se variar a quantidade de reagentes para obter certa quantidade de produto, a relação entre a massa dos reagentes se mantinha constante;
- Ex.:** Sempre, em qualquer amostra de H_2O , a razão (massa de H_2)/(massa de O_2) = $2/16 = 1:8$;
- Ex.:** No óxido de cálcio (CaO), a razão (massa de cálcio)/(massa de oxigênio) = $40/16 = 5:2$.



Postulados de Dalton

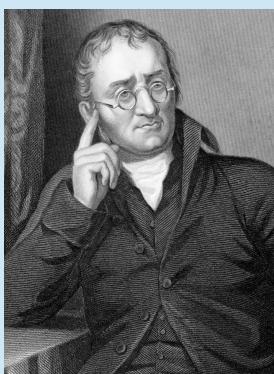
- Dalton se inspirou na teoria atômica da antiguidade para elaborar quatro postulados sobre a natureza da matéria em função da existência de átomos. Esses postulados são:

1. Todos os átomos são indestrutíveis;

2. Um átomo não pode se transformar em outro átomo;

3. Átomos de um mesmo elemento são iguais entre si (possuem as mesmas propriedades), e diferentes de átomos de elementos diferentes;

4. Compostos são combinações de números inteiros de átomos de elementos diferentes.



Lei de Dalton

- Com esses enunciados, Dalton pôde:
 - explicar as leis ponderais anteriores;
 - propor uma nova lei ponderal, a Lei de Dalton ou lei das proporções múltiplas.
- Esta, por sua vez, mostrava que se dois tipos de átomos podem formar mais de um tipo de composto, ao se manter a quantidade de um dos átomos constantes, a razão entre as massas dos compostos produzidos devem a razão entre números inteiros pequenos;
- Ex.:** A mistura de 1 g de carbono (C) + 1,3 g de oxigênio (O) produz 2,3 g de monóxido de carbono (CO). Se misturarmos a mesma massa de carbono a 2,6 g de oxigênio, serão produzidos 3,6 g de dióxido de carbono (CO_2). A proporção da massa de oxigênio no CO e no CO_2 é $1,3/2,6 = 1:2$;
- Ex.:** Para uma massa fixa de nitrogênio, a razão das massas de oxigênio em NO e NO_2 é 1:2.

Exercícios

1) Associar elementos à composição da matéria foi tema comum a alguns filósofos da Grécia Antiga. Uns acreditavam que a água estava na base de tudo; outros que o ar ou mesmo o fogo descreviam o universo. Um deles, no entanto, acreditava que todos esses e outros elementos descreviam a matéria e as sensações que temos ao interagir com eles:

- a)** Aurélio;
- b)** Demócrito;
- c)** Dalton;
- d)** Anaxágonas;
- e)** Aristóteles.

Exercícios

2) Hoje sabemos que a massa não se conserva em certos processos; na verdade massa pode se converter em energia e vice-versa no universo microscópico. Essa observação é contrária a lei ponderal de qual cientista?

- a)** Lavoisier;
- b)** Proust;
- c)** Dalton;
- d)** Thomson;
- e)** Torricelli.

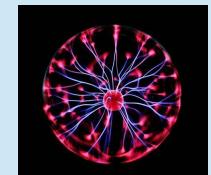
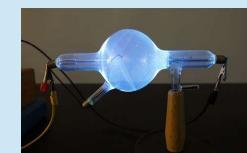
Exercícios

3) Qual a única hipótese que é compatível com os postulados de Dalton:

- a)** Todos os átomos são iguais;
- b)** Não é possível converter um átomo em outro;
- c)** Todo elemento é composto de mais de um tipo de átomo;
- d)** O átomo é formado por partículas menores;
- e)** Alguns átomos são divisíveis, enquanto outros, não.

Eletricidade e gases

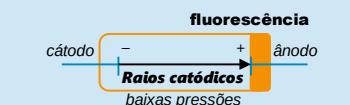
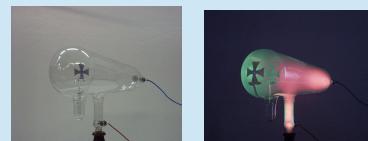
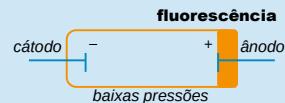
- Um pouco antes da confirmação da hipótese atômica, alguns experimentos que levariam a conclusão de que **átomos são**, de fato, **divisíveis**, foram realizados. Eles levariam ao quadro mais relevante para a química da composição de um átomo em termos de partículas subatômicas;
- **Gases permitem a condução de eletricidade** quando confinados em uma ampola de vidro na qual dois eletrodos, conectados a uma fonte de energia, são colocados em seu interior, em posições opostas. O que se observa nessas condições é uma **incandescência característica de cada gás**;
- Esse tipo de experimento levou os cientistas a questionarem, entre muitas coisas (inclusive a razão das cores serem diferentes, a ser abordado depois), **como o gás, teoricamente neutro, pode permitir a passagem de corrente elétrica**.



Raios catódicos

[ver vídeo](#)

- Descobriu-se que quando a pressão do gás é reduzida, a luz diminui e apenas uma fluorescência do vidro, no lado do eletrodo positivo, é observada.
- William Crookes (1879) demonstrou que a luminescência das paredes de vidro se deve a um bombardeio do lado do eletrodo positivo (o ânodo) por uma radiação que vinha do eletrodo negativo (o cátodo).
- Inclusive se um objeto era usado como anteparo, uma sombra de seu contorno, que não brilhava, poderia ser vista no vidro irradiado.
- Isso demonstrou que a radiação seguia em linha reta, e Crookes a batizou de **raios catódicos**.



Experimentos de Thomson

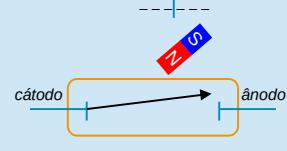
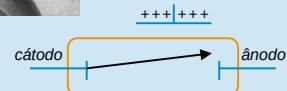
[ver vídeo](#)

- Thomson fez vários experimentos com raios catódicos, descobrindo que eles são:

1) compostos de partículas carregadas negativamente (defletem com campo elétrico e magnético) e;



2) são observados em todos os gases, possuindo as mesmas características (massa e carga, pelo grau de deflexão do feixe) → faz parte de todos os átomos.



Deflexão igual para todos os gases

Visto que os raios catódicos transportam uma quantidade de eletricidade negativa, são desviados por uma força electrostática como se fossem negativamente carregados, e sofrem a ação de uma força, exatamente, como se fosse um corpo carregado negativamente, movendo-se ao longo do caminho seguido pelos raios, não vejo como fugir a explicação de que elas são cargas de eletricidade negativa transportadas por partículas de matéria.

J.J. Thomson

Raios canais

[ver vídeo](#)

- Eugene Goldstein (1886) modificou um pouco o experimento, usando um cátodo perfurado com **duas câmaras**, uma com o ânodo e a outra sem ele;
- Enquanto que raios catódicos atravessavam a câmara entre o cátodo e o ânodo, **raios no sentido oposto** atravessavam outra câmara. Esses raios, que levavam a uma coloração da câmara que dependia do gás, foram chamados de **raios canais**;
- Wilhelm Wien verificou que os raios canais sofriam deflexão com campos elétricos e magnéticos, e que o desvio é compatível com um feixe de **partículas positivamente carregadas**.



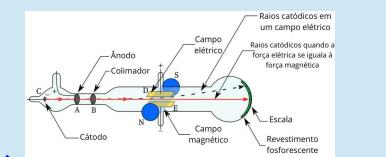
Experimentos de Thomson

[ver vídeo](#)

- Variando os campos possibilitou a Thompson determinar uma razão **carga/massa** do elétron como $e/m_e = 1 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$, a mesma para qualquer gás que usasse, indicando que o elétron é um componente fundamental de todos os átomos.

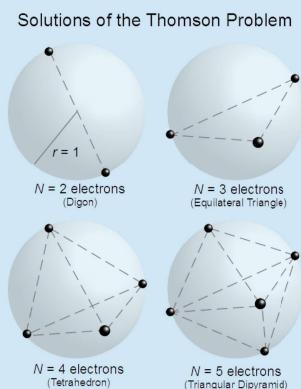
- Thomson também estudou os **raios canais**, verificando que são partículas positivas cuja relação carga/massa, além de muito menor do que a do elétron (indicando que sua **massa era muito maior**), era diferente para diferentes gases. Para se ter uma ideia, o gás que levava a raios catódicos com maior valor dessa razão era o raio canal do gás hidrogênio, de $1 \cdot 10^8 \text{ C kg}^{-1}$;

- Rutherford viria a chamar essa partícula de **próton**.



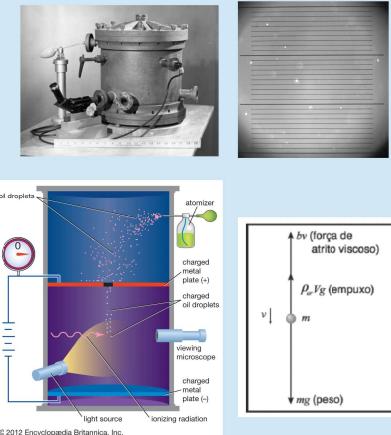
Modelo de Kelvin-Thomson

- Baseado no fato de que a parte positiva dos átomos possuía relação carga/massa muito menor do que as partículas negativas, assumindo-se uma densidade de carga constante, **a massa das partículas positivas devia ser muito maior que a das negativas**;
- Thomson e Kelvin assumiram que isso implicava um maior volume das partículas com maior massa, e para dispor essas duas parcelas em um átomo neutro eles propuseram um modelo de **átomo divisível** em que quase todo o volume do átomo era carregado positivamente, de maneira uniforme, e os elétrons, em quantidade que neutralizaria a carga do átomo, ocuparia um volume muito menor, sendo quase cargas pontuais;
- Os elétrons ficavam localizados na esfera de modo a **minimizar sua repulsão eletrostática**. O arranjo dessas cargas na esfera é chamado de problema de "Thomson".



Experimento de Millikan

- Millikan propôs uma maneira engenhosa de **determinar a carga do elétron**: ele imaginou que gotículas de óleo pequenas poderiam perder elétrons ao serem atingidas por radiação (raios X, mas na próximo tópico).
- Essas gotas, ao caírem em queda livre, adquirem uma **velocidade constante** que pode ser medida e está associada a massa e o raio das gotas. Como algumas delas estão carregadas eletricamente (por mais ou menos elétrons), se um campo elétrico, paralelo ao campo gravitacional, é aplicado, é possível reduzir essa velocidade e medir uma **nova velocidade terminal**, esta agora alterada pelo **número de cargas negativas adicionais**.
- Fazendo essas medidas com várias gotas, Millikan determinou que todas são **múltiplos de um valor apenas**: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Com essa estimativa ele pode também obter, aplicando a relação carga/massa determinada por Thomson anteriormente, a massa do elétron: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$.



Exercícios

4) Qual pesquisador determinou que raios catódicos são partículas que trafegam em linha reta do cátodo ao ânodo de uma tubo de descarga?

- a)** Goldstein;
- b)** Thomson;
- c)** Wien;
- d)** Crookes;
- e)** Millikan.

Exercícios

5) Das observações abaixo, qual a incorreta?

- a)** Elétrons são cargas negativas com massa relativamente pequena;
- b)** Átomos são neutros porque contêm cargas negativas e positivas;
- c)** Thomson determinou que raios canais são partículas positivas;
- d)** Os experimentos de Crookes comprovaram o caráter particular dos raios catódicos;
- e)** Com os experimentos de Millikan foi possível estimar a carga e a massa do elétron.

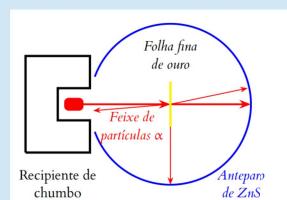
Exercícios

6) Sobre raios canais e raios catódicos, qual alternativa está correta:

- a) Raios canais são positivos e raios catódicos negativos;
- b) A massa dos raios canais é muito menor que a massa dos raios catódicos;
- c) Raios canais e raios catódicos possuem a mesma massa;
- d) Raios canais defletem na mesma intensidade na presença de um ímã;
- e) Raios catódicos defletem mais ou menos na presença de um campo elétrico a depender do gás.

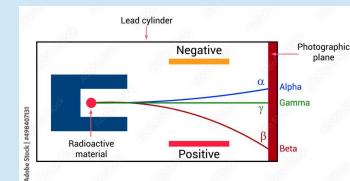
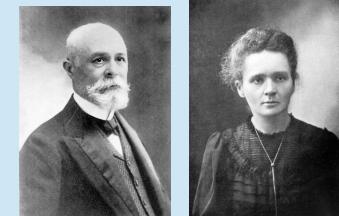
Experimentos de Geiger-Marsden

- Para entender melhor a estrutura do átomo, Geiger e Marsden realizaram um experimento em que uma **folha de ouro fina seria bombardeada por partículas alfa** de átomos de tório (radioativo). Ao redor da folha um anteparo de ZnS, que se ilumina ao ser atingido por partículas alfa, indicaria a trajetória das partículas de incididas na folha.
- O comportamento esperado **segundo o modelo de Thomson-Kelvin** era de que, considerando a densidade positiva constante dos átomos, **as partículas atravessariam o átomos de ouro de maneira mais ou menos uniforme**, pois a massa da carga positiva seria distribuída uniformemente.
- Porém, o experimento **indicou que** apesar da grande maioria das partículas exibirem esse comportamento, **uma fração pequena de partículas alfa foi rebatida e seguiram uma trajetória quase oposta**. Isso indicou que a maior parte do volume do átomo possui uma massa muito pequena, de modo que as partículas alfa não tiveram sua trajetória alterada na maioria dos casos.
- Por outro lado, a parte positiva ocupa um volume pequeno, mas uma massa elevada ao ponto de rebater as partículas alfa que se chocavam com tal fração do átomo.



Radioatividade

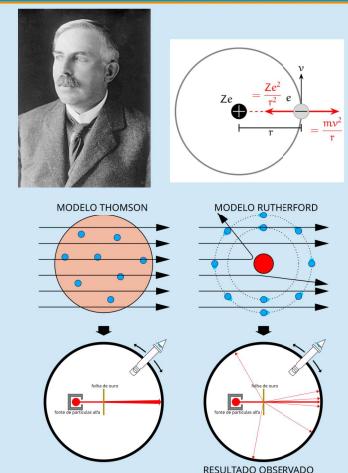
- Desde Becquerel sabia-se que algumas substâncias, como sais de urânio, polônio e rádio, emitiam um tipo de radiação espontaneamente. Esse fenômeno, chamado de **radioatividade**, e foi caracterizar três dessas radiações ionizantes (capazes de remover elétrons de átomos): **partículas α , β e γ** .
- Partículas alfa, ele determinou, **possuem grande massa relativa e carga positiva**; partículas beta, por outro lado, são negativas e muito mais leves; partículas gama, diferente das duas, é neutra e não possui massa determinável (mais tarde se observaria que é um tipo de luz muito energética).



Modelo de Rutherford

Isso era quase tão incrível como se alguém tivesse disparado uma bala de 15 polegadas em um tecido de papel e ela voltasse, acertando o autor do disparo.
E. Rutherford

- Rutherford, que supervisionava o experimento, frente a essas observações, indicou que haviam falhas no modelo de Kelvin-Thomson, e propôs o modelo de átomo divisível similar a um **modelo planetário**: a **região densa positivamente carregada**, que ele chamou de **núcleo**, fica no centro do átomo, e o restante, correspondente a quase todo o volume do átomo, orbitariam **elétrons em trajetórias circulares** numa região chamada de **eletrosfera**.
- No caso planetas orbitando em torno de uma estrela, a atração gravitacional é compensada pela força centrípeta repulsiva. No caso do átomo a atração coulombica (elétrons negativos por núcleos positivos) é contrabalanceada pela força centrípeta do movimento circular.



Bons estudos!

Apêndices

Referências das figuras

- <https://physics.nyu.edu/~phylab/Demos/updatedEquipment/E&M/crookesTubes.html>
- <https://www.crtsite.com/page7-2.html>

Filósofos

Heráclito acreditava que o fogo era o elemento primordial, do qual todas as coisas haviam surgido. Tales, como o leitor recordará, achava que todas as coisas eram feitas de água; Anaxímenes considerava o ar como o elemento primitivo; Heráclito preferia o fogo. Por fim, em pédocles sugeriu um compromisso diplomático, permitindo quatro elementos: terra, ar, fogo e água. A química dos antigos parou neste ponto. Nenhum novo progresso se verificou na ciência até

O tratado *Dos Céus* expõe uma teoria simples e agradável. As coisas que estão em baixo da Lua estão sujeitas a geração e decadência; da Lua para cima, tudo é ingerido e indestrutível. A Terra, que é esférica, está no centro do universo. Na esfera sublunar, todas as coisas são compostas de quatro elementos: terra, água, ar e fogo; mas há um quinto elemento, de que se compõem os corpos celestes. O movimento natural dos elementos terrestres é retílineo, mas o do quinto elemento é circular. Os céus são perfeitamente esféricos, e as regiões superiores são mais divinas do que as inferiores. As estrelas e os planetas não são compostos de fogo, mas do quinto elemento; seu movimento é devido ao das esferas a que estão ligados. (Tudo isto aparece, em forma poética, no *Paraíso* de Dante).

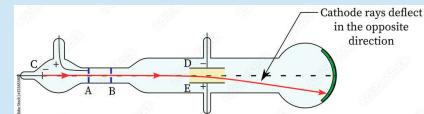
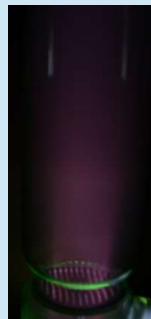
Fonte: Bertrand Russell, *História da filosofia ocidental*

Provando leis ponderais

Também chamado de modelo da bola de bilhar, o modelo de Dalton assume que átomos não possuem estrutura interna (o que veremos não ser verdade). Porém, suas hipóteses eram bastante satisfatórias na explicação das leis observadas:

- *Sobre Lei de Lavoisier:* se átomos não podem ser destruídos (postulado 1) nem convertidos em átomos de outros elementos (postulado 2), e possuem uma massa fixa característica, uma reação química, onde átomos simplesmente se realocam entre compostos, não pode mudar a massa de um sistema fechado;
- *Sobre Lei de Proust:* um composto é uma combinação em quantidades específicas de diferentes átomos (postulado 4), e como cada um possui uma massa particular (postulado 3), a massa de cada elemento constitui uma fração fixa da massa total.

Figuras adicionais



Fonte: <https://www.crtsite.com/page7-2.html>

Provando leis ponderais

Dalton também previu a seguinte lei:

- **Lei das Proporções Múltiplas:** se dois elementos formam diferentes compostos, a razão entre as massas de um desses elementos nos diferentes compostos para uma massa fixa do outro elemento é uma razão entre números inteiros pequenos.

Que foi prevista com base nos postulados:

- *Sobre Lei das Proporções Múltiplas:* átomos de um elemento possuem a mesma massa (postulado 3) e são indivisíveis (postulado 1). As massas de um elemento B que se combinam com uma massa fixa de um elemento A fornecem uma razão de números inteiros pequenos porque números distintos de átomos de B se combinam com cada átomo A em diferentes compostos.

Figuras adicionais



Fonte: <https://physics.nyu.edu/~physlab/Demos/updatedEquipment/E&M/crookesTubes.html>

Pressão, Goldstein e Thomson

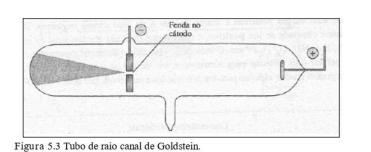
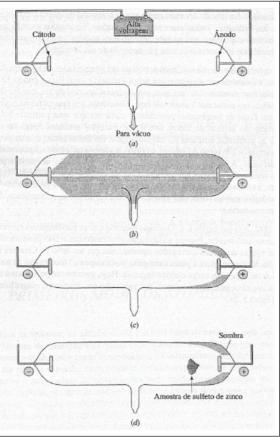


Figura 5.3 Tubo de raios catódicos de Goldstein.

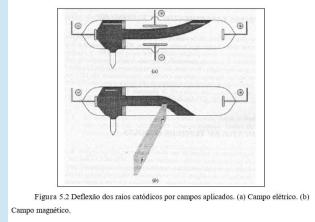
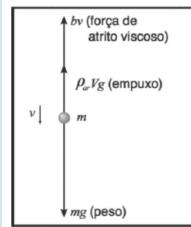


Figura 5.2 Deflexão dos raios catódicos por campos aplicados. (a) Campo elétrico. (b) Campo magnético.

Figura 5.1 Um tubo Crookes. O cátodo é o eletrodo carregado negativamente por uma fonte de alta voltagem, e o ânodo, o eletrodo carregado positivamente. (a) Antes de ser evacuado. (b) A pressões intermediárias. (c) Abaixas pressões. (d) A baixas pressões.

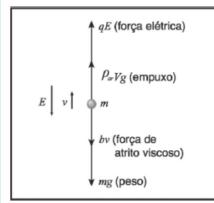
Fonte: Russell, Química Geral Vol. 1

Millikan



Em suma, os experimentos de Millikan levaram não apenas à constatação da existência de uma carga elementar na natureza – a carga do elétron –, mas permitiram também a primeira determinação precisa de seu valor, que, combinado com o resultado da eletrólise de Faraday, leva a uma determinação também precisa do número de Avogadro. Esses fatos levaram-no a afirmar que

[A carga elétrica] tem cada vez mais sido vista, não somente como a mais fundamental das constantes físicas ou químicas, mas também como aquela da mais suprema importância na solução de problemas numéricos da Física moderna.



Fonte: Caruso et al., Física Moderna - Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos