

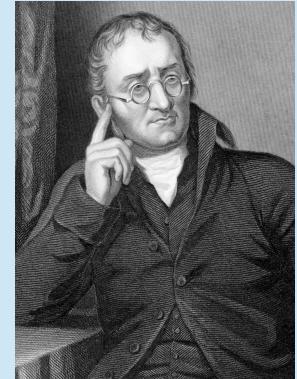
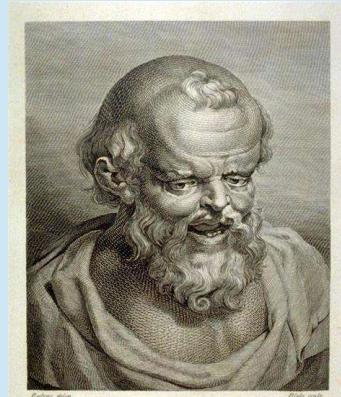
Química

Teoria atômica

Prof. Diego J. Raposo
UPE – Poli
2025.2

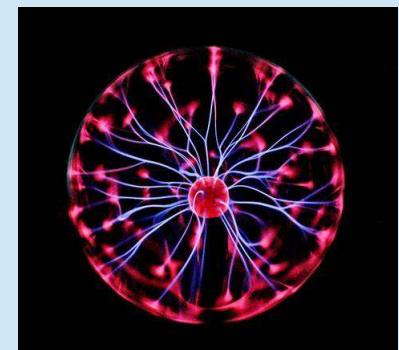
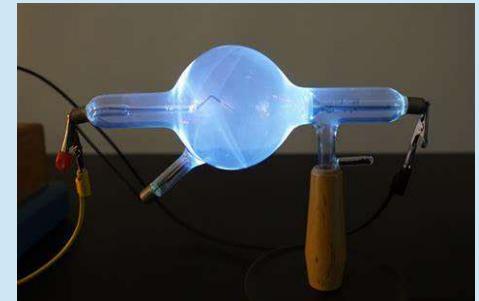
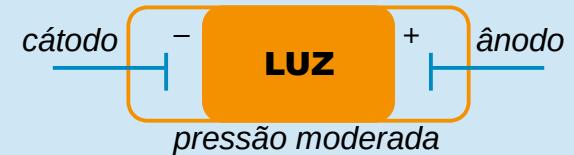
A matéria é composta de átomos

- Filósofos gregos como Leucipo e Demócrito postularam que a matéria é feita de partículas diminutas chamadas **átomos**, estas indivisíveis;
- Tal visão foi ignorada por séculos, até que Dalton a trouxe de volta para explicar **leis envolvendo reações químicas** (lei de Lavoisier, lei de Proust);
- Dalton ainda propôs uma **nova lei ponderal** (lei de Dalton), que foi observada em laboratório, respaldando a hipótese de que a matéria é feita de átomos;
- O modelo de matéria que retrata os átomos como esferas indivisíveis é frequentemente chamado de “**modelo de bola de bilhar**”.



Eletricidade e gases

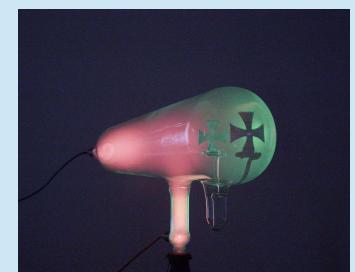
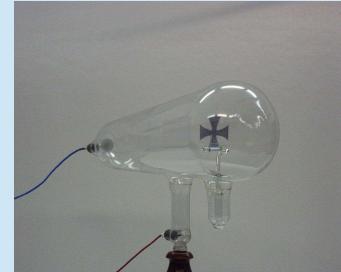
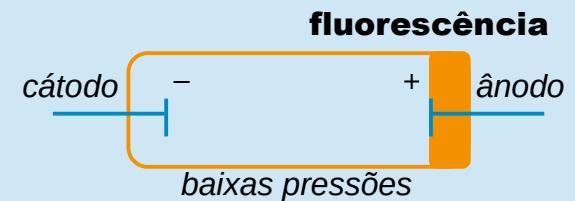
- Um pouco antes da confirmação da hipótese atômica, alguns experimentos que levariam a conclusão de que **átomos são**, de fato, **divisíveis**, foram realizados. Eles levariam ao quadro mais relevante para a química da composição de um átomo em termos de partículas subatômicas;
- **Gases permitem a 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.**



[ver vídeo](#)

Raios catódicos

- 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**.



Raios canais

- 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**.



[ver vídeo](#)

Experimentos de Thomson

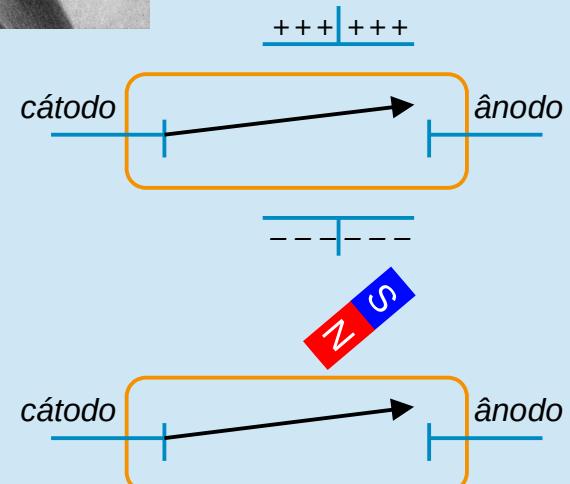
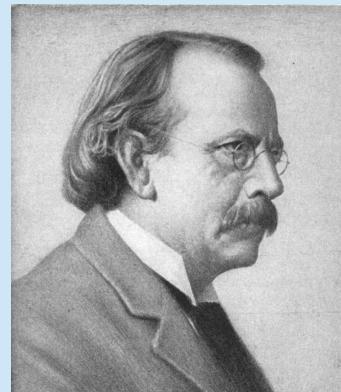
- Thomson fez vários experimentos com raios catódicos, descobrindo que eles são:

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.

Visto que os raios catódicos transportam uma quantidade de eletricidade negativa, são desviados por uma força eletrostática 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 eles são cargas de eletricidade negativa transportadas por partículas de matéria.

J.J. Thomson

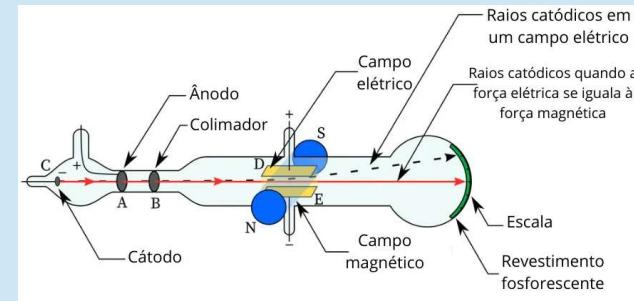
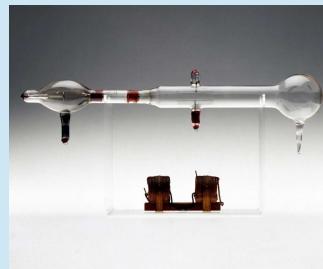


Deflexão igual para todos os gases

[ver vídeo](#)

Experimentos de Thomson

- Variando os campos possibilitou a Thomson determinar uma razão **carga/massa** do elétron como $e/m_e = 1,758 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$, 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 $1 \cdot 10^8 \text{ C kg}^{-1}$ (assumindo cargas iguais, a massa desse raio canal é 1800 vezes maior que a dos raios catódicos)
- Rutherford viria a chamar essa partícula de **próton**.

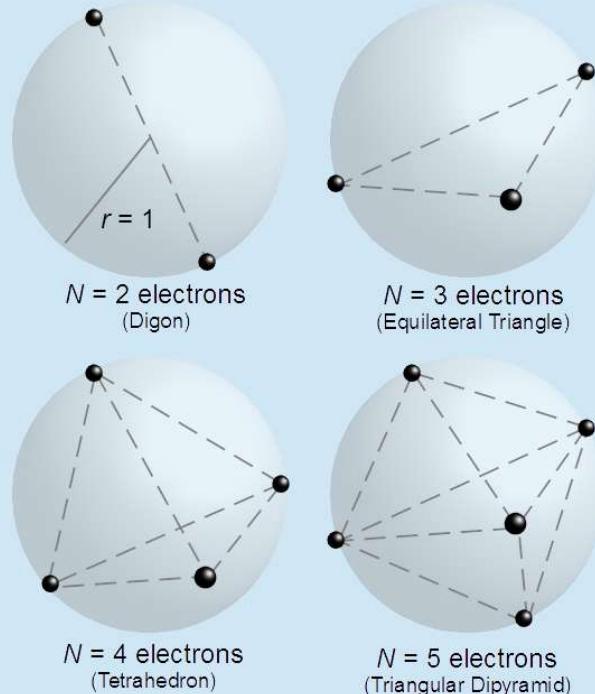


Deflexão diferente para gases distintos

Modelo de Kelvin-Thomson

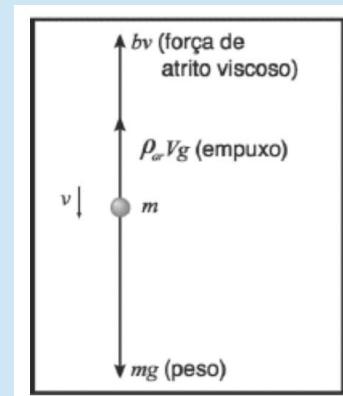
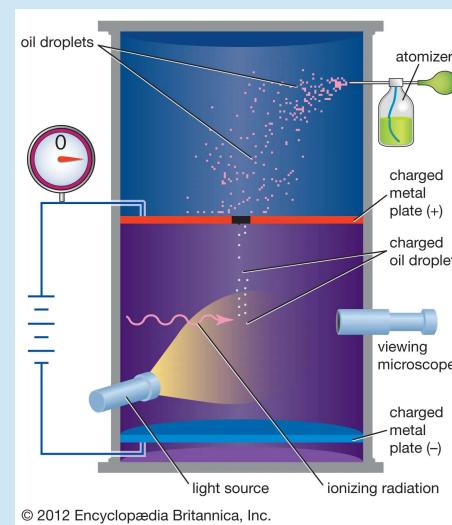
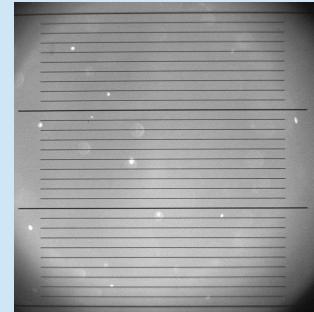
- Baseado no fato de que a parte positiva dos átomos possuía relação carga/massa muito menor do que as partículas negativas, assumindo-se uma densidade de carga constante, a massa das partículas positivas devia ser muito maior que a das negativas;
- Thomson e Kelvin assumiram que isso implicava um maior 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”.

Solutions of the Thomson Problem



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, mais 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 apena**s: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Com essa estimativa ele pode também obter, aplicando a relação carga/massa determinada por Thomson anteriormente, a massa do elétron:
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.



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 canais;
- e)** Com os experimentos de Millikan foi possível estimar a carga e a massa do elétron.

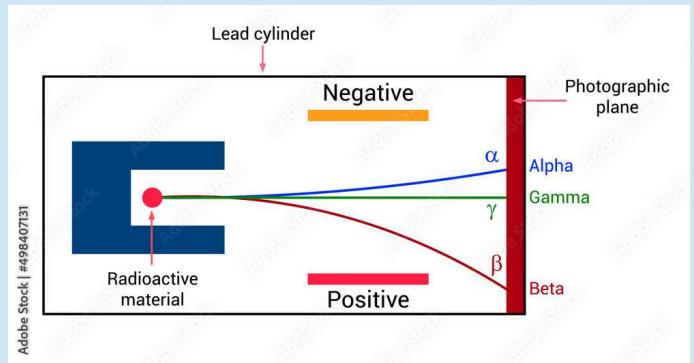
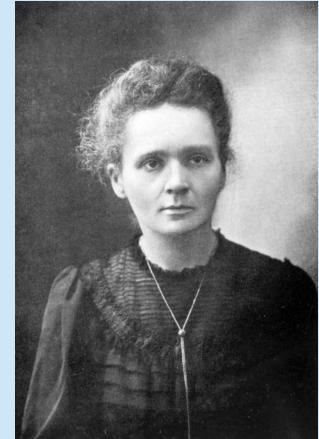
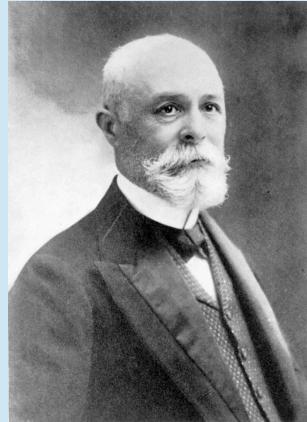
Exercícios

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.

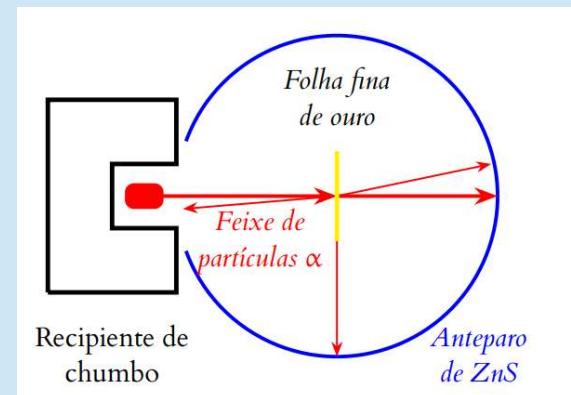
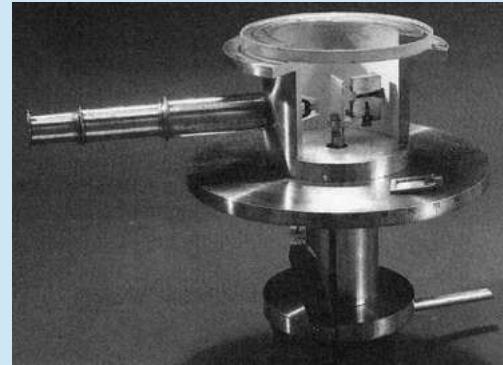
Radioatividade

- 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).



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 depois 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.

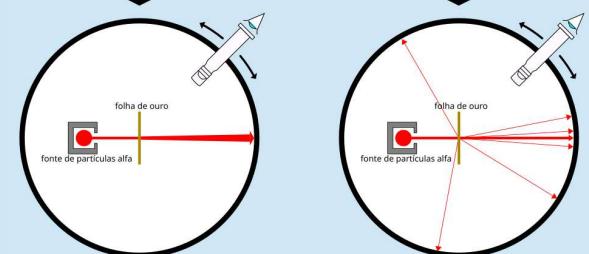
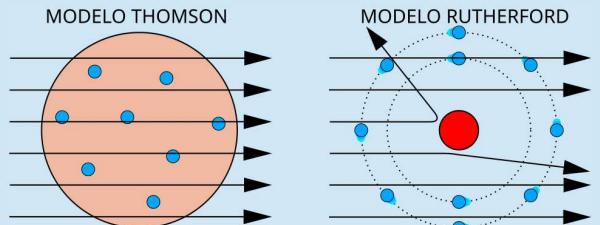
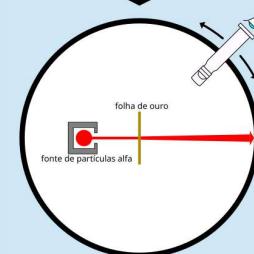
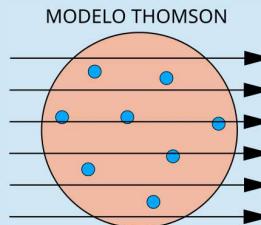
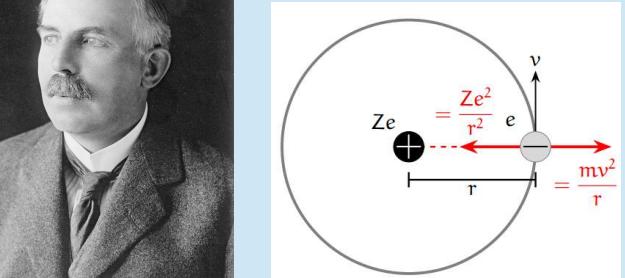
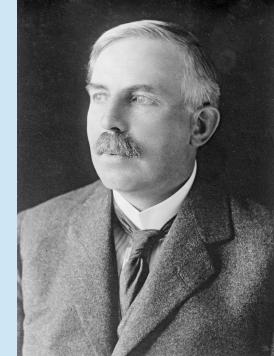


Modelo de Rutherford

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.



RESULTADO OBSERVADO

Partículas subatômicas

- O átomo é formado por três tipos de partículas: **prótons**, **nêutrons** e **elétrons**. Como vimos, prótons e nêutrons fazem parte do **núcleo** do átomo, enquanto que os elétrons estão em sua **eletrosfera**. Algumas propriedades importantes dessas partículas subatômicas são:

Partícula	massa (u)	carga (e)	Spin (?)
elétron	$0,00055 \approx 0$	-1	1/2
próton	$1,00728 \approx 1$	+1	1/2
nêutron	$1,00867 \approx 1$	0	1/2

- Note que: **a)** $m(\text{próton}) \approx m(\text{nêutron})$, **b)** $m(\text{próton}), m(\text{nêutron}) \gg m(\text{elétron})$, **c)** $q(\text{nêutron}) = 0$.
- Atenção para as unidades:

$$1 \text{ u} = 1 \text{ u.m.a.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

↓
Unidade de massa atômica

$$5,5 \cdot 10^{-4} \text{ u} \cdot \left(\frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{1 \text{ u}} \right) = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Thomson + Millikan

$$1 \text{ e} = 1,609 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Millikan

Núcleo (prótons)

- Formado por **prótons** (caracterizados pelo **número atômico Z**) e **nêutrons** (caracterizados pelo **número de massa A**);
- Ocupa quase **nenhum volume**, e concentra quase **toda a massa**;
- **Símbolo do átomo:** n° de prótons = n° atômico caracteriza elemento químico → símbolo X, nome. Logo sabendo Z sabemos X, ou sabendo X obtemos Z (tabela p.): $X \leftrightarrow Z$

Ex.: Z = 6 → (tabela) → elemento carbono, símbolo C

- **Notação do átomo:** $Z \leftrightarrow X$

Ex.: ${}_6C$: n° de prótons = Z = 6;

Na → (tabela) → n° de prótons = Z = 11. Ou seja, pode ser ${}_{11}Na$

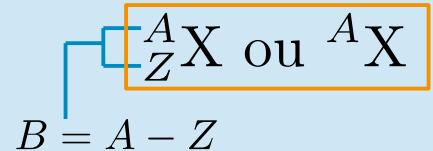
Núcleo (nêutrons)

- **nº de nêutrons:** B. Não é mostrado diretamente na tabela.

- **nº de massa:** A. Mostrado diretamente na tabela.

- **nº de massa (A) = nº de prótons (Z) + nº de nêutrons (B):** $A = Z + B \rightarrow B = A - Z$

- Notação do átomo (atualizada):



Ex.: ${}^{12}_6 C$: nº de prótons = Z = 6, nº de nêutrons = B = A – Z = 12 – 6 = 6

${}^{23}_{11} Na$: nº de prótons = Z = 11, nº de nêutrons = A – Z = 23 – 11 = 12

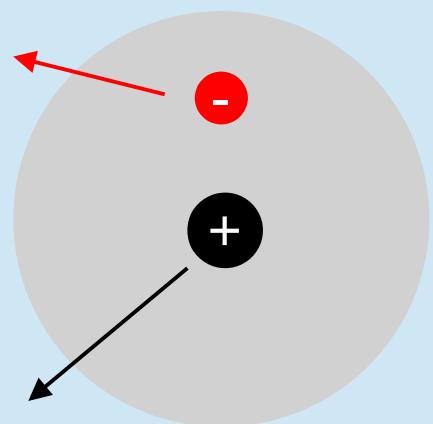
- Obs.: Nem todo átomo de Z = B!

Núcleo (isótopos)

- Átomos de um mesmo elemento (mesmo Z) podem possuir B distintos: são chamados de isótopos de um elemento.
- Ex.: isótopos do hidrogênio:

Hidrogênio-1

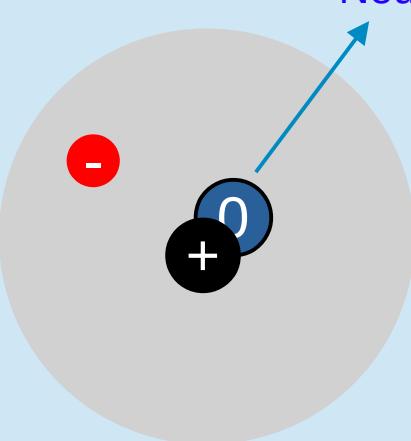
${}^1_1\text{H}$, ${}^1\text{H}$



Hidrogênio-2

${}^2_1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, D (deutério)

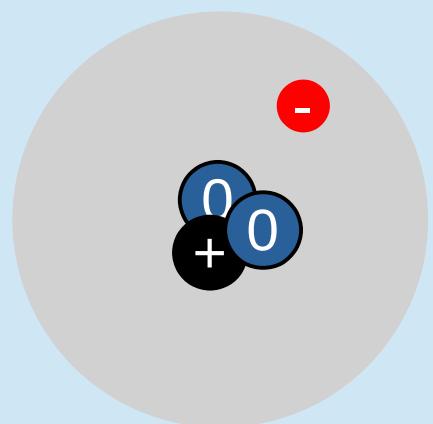
$Z = 1$
 $A = 2$
 $B = 1$



Hidrogênio-3

${}^3_1\text{H}$, ${}^3\text{H}$, T (trítio)

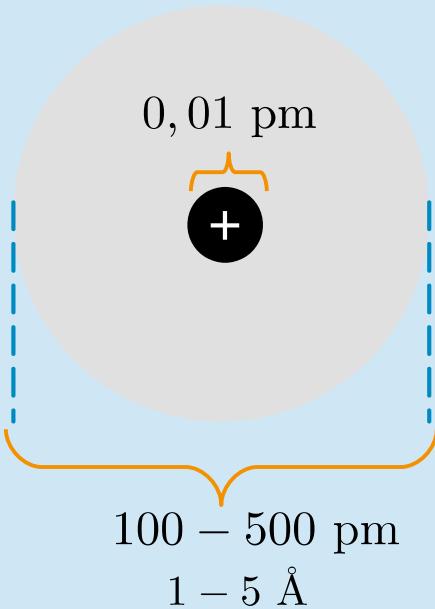
$Z = 1$
 $A = 3$
 $B = 2$



*A massa dos elementos que aparecem na tabela periódica são médias ponderadas dos isótopos estáveis desses elementos, onde o peso é a abundância de cada isótopo

Eletrosfera

- Formada por elétrons, cuja relação com Z resulta na carga do átomo (Q);
- Ocupam quase todo o volume do átomo, mas essencialmente nenhuma massa;



$$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$$
$$1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

$\xrightarrow{\hspace{1cm}}$

$$\frac{1 \text{ pm}}{1 \text{\AA}} = 10^{-12+10} = 10^{-2}$$

$$1 \text{ pm} = 10^{-2} \text{\AA}$$
$$100 \text{ pm} = 1 \text{\AA}$$

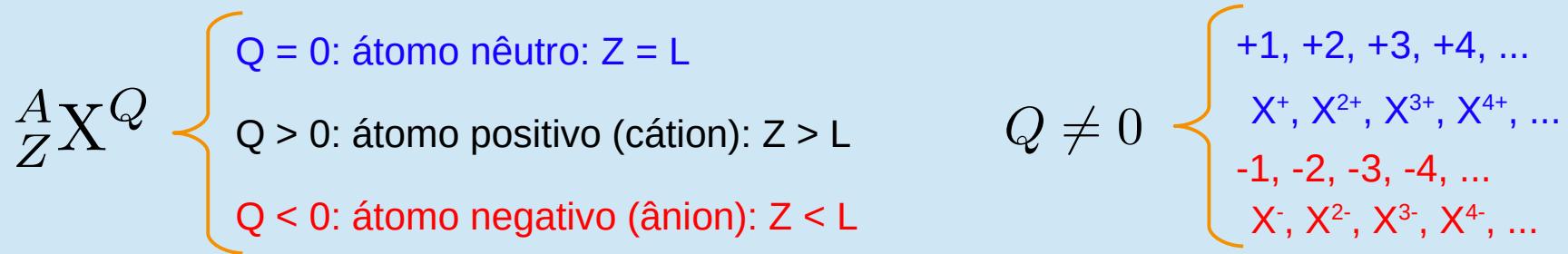
$$500 \text{ pm} \cdot \left(\frac{1 \text{\AA}}{10^2 \text{ pm}} \right) = 5 \text{\AA}$$

Eletrosfera

- n° de elétrons: L. Não é mostrado na tabela ou na notação do átomo diretamente;
 - Carga do átomo (Q) = n° de prótons (Z) – n° de elétrons (L):
$$Q = Z - L \rightarrow L = Z - Q$$
 - Notação do átomo atualizada:
$$\begin{array}{c} {}^A_Z X^Q \text{ ou } {}^A X^Q \\ L = Z - Q \end{array}$$
-
- $Q = 0$: Átomo **neutro** (número de elétrons igual ao número de prótons: $L = Z$). Não precisa colocar na notação do átomo (todos os **elementos da tabela**);
 - Ex.: ${}^{12}_6 C$: n° de prótons = $Z = 6$, n° de nêutrons = $12 - 6 = 6$, n° de elétrons = $L = Z = 6$.

Eletrosfera

- $Q \neq 0$: o átomo é um **íon**, sendo um **cáton** (positivo, pois possui mais prótons do que elétrons) ou **ânion** (negativo, pois possui mais elétrons do que prótons);



- Ex.: ${}^{32}_{16} S^{2-}$: n° de prótons (tabela) = $Z = 16$, n° de nêutrons = $B = 32 - 16 = 16$, n° de elétrons = $L = Z - Q = 16 - (-2) = 18$;
- Ex.: ${}^{23}_{11} Na^+$: n° de prótons = $Z = 11$, n° de nêutrons = $23 - 11 = 12$, n° de elétrons = $L = Z - Q = 11 - (+1) = 10$

Exemplos

- Determine o número de prótons, nêutrons e elétrons dos átomos a seguir, explicitando os cálculos: ^{16}O , ^{236}U , $^{69}\text{Ga}^{3+}$, ^{10}B , $^{79}\text{Br}^-$

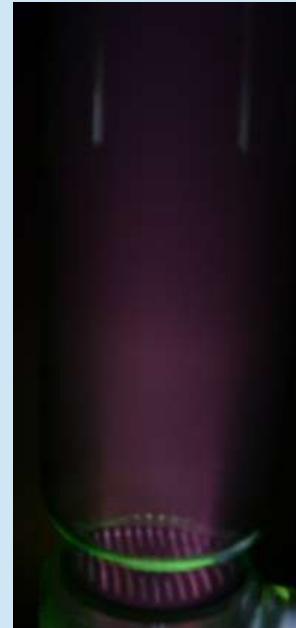
Bons estudos!

Apêndices

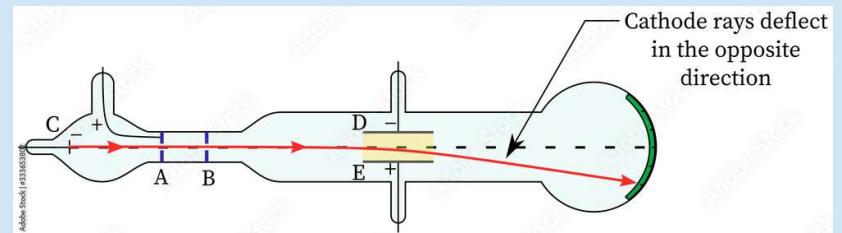
Referências das figuras

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

Figuras adicionais



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



Figuras adicionais



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

Pressão, Goldstein e Thomson

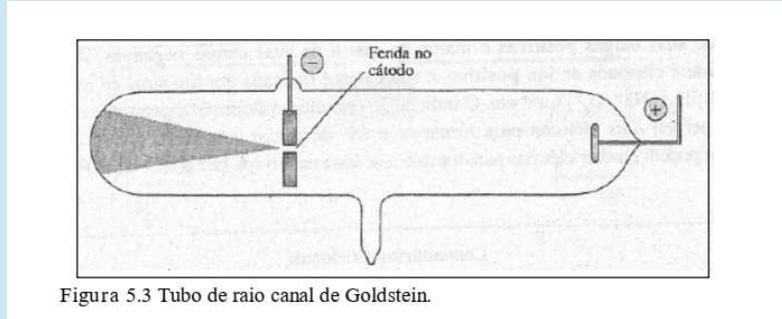
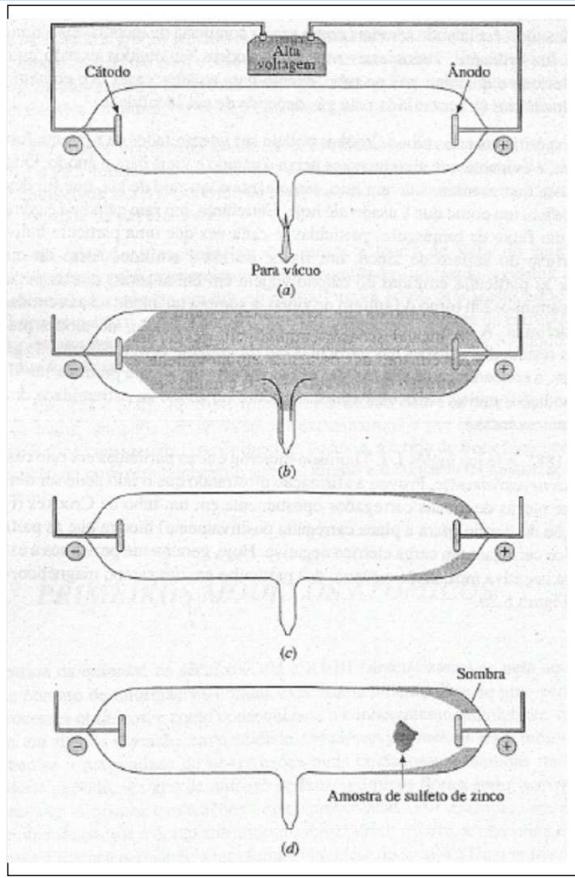


Figura 5.3 Tubo de raio canal de Goldstein.

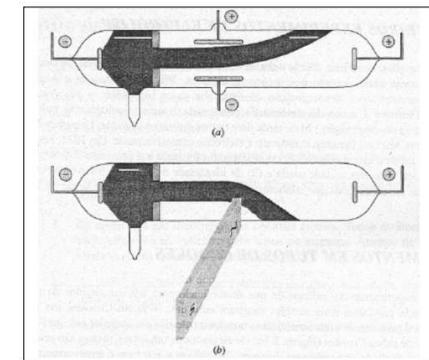
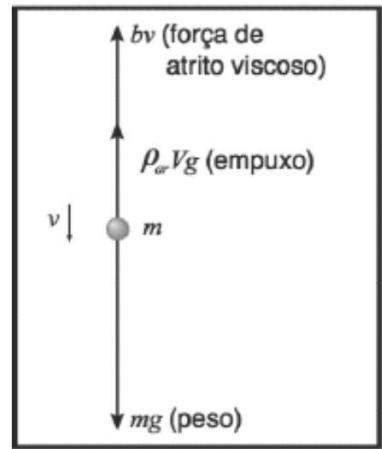


Figura 5.2 Deflexão dos raios catódicos por campos aplicados. (a) Campo elétrico. (b) Campo magnético.

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.

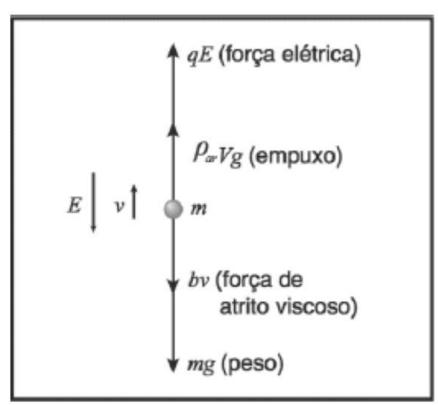
Fonte: Russell, Química Geral Vol. 1

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*

TEORIA ATÔMICA

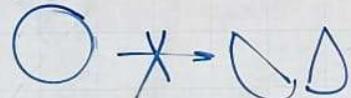
LEUCIPO
DEMÓCRITO

} ATÔMOS
(INDIVISÍVEL)

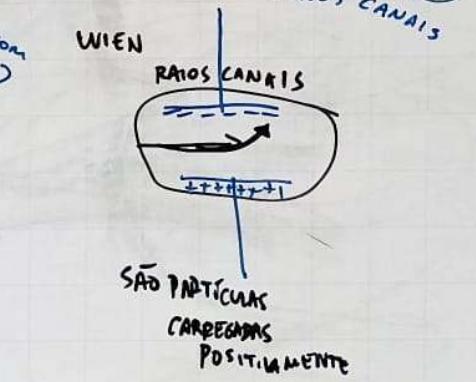
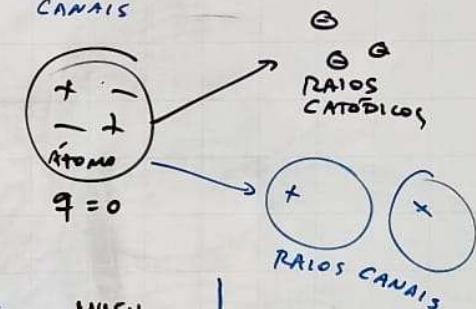
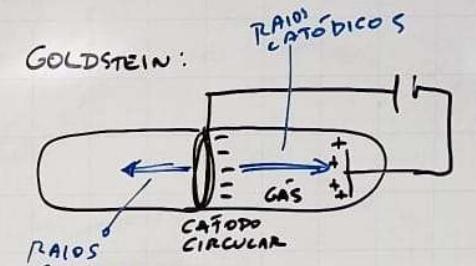
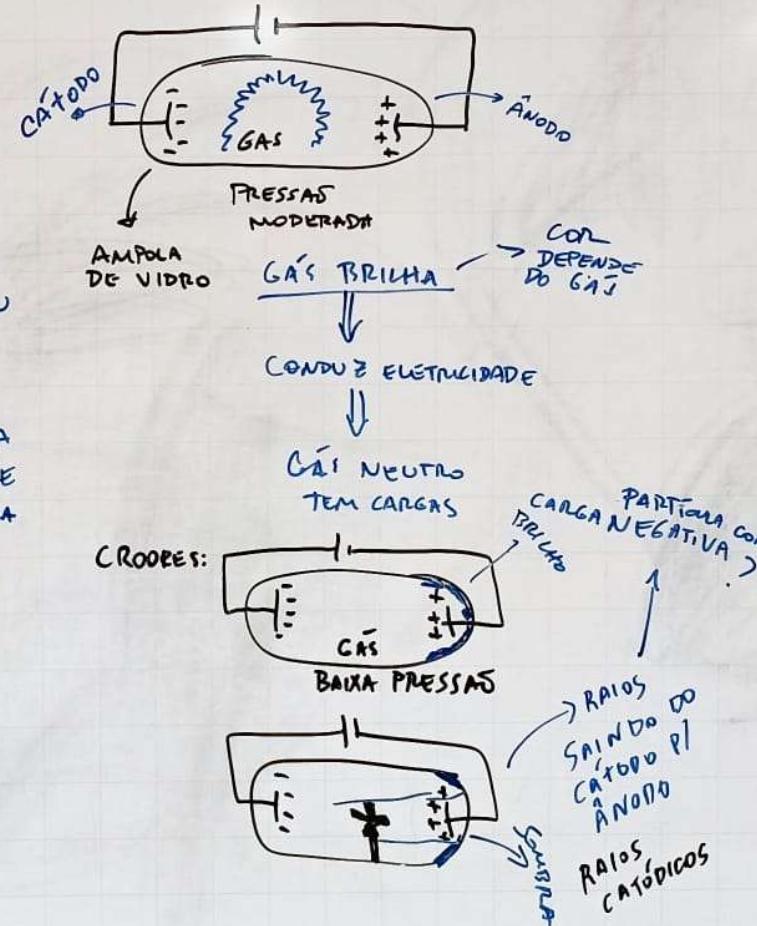
LEIS PONDERAIS
(EX.: LEI DE LAVOISIER:
LEI DA CONS. DA MASSA)

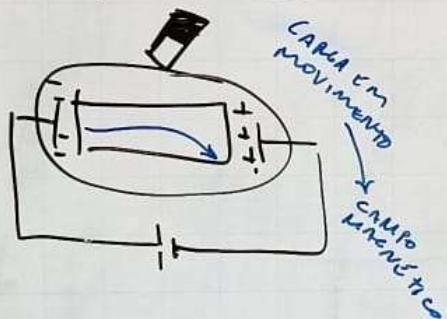
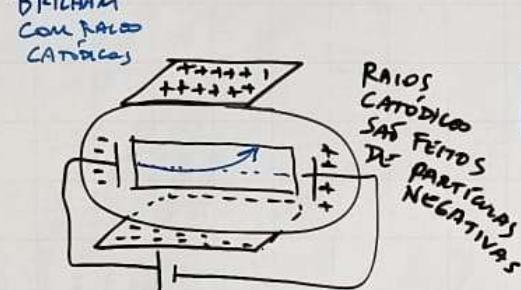
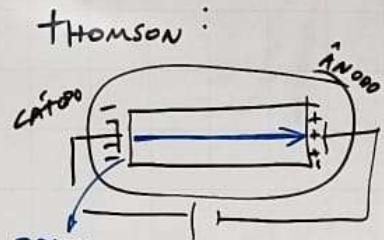
\Rightarrow DALTON

MODELO DA
BOLA DE BILHAR



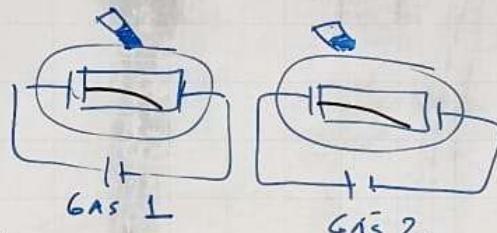
SUPORTE A
HIPÓTESE
ATÔMICA





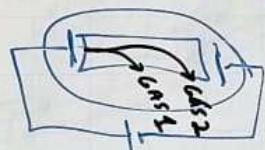
DIFERENTES GASES:

- DEFLEXÃO IGUAL PARA OS RAIOS CATÓDICOS



RAIOS CATÓDICOS SÃO COMPONENTE BÁSICA DA MATERIA

- DEFLEXÃO DIFERENTE PARA GASES DISTINTOS



MODELO DE THOMSON
(PUDIM DE PASSAS)

- COMBINANDO CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO
DETERMINAMOS:

$$\frac{\text{CARGA DOS RAIOS CATEÓDICOS}}{\text{MASSA DOS RAIOS CATEÓDICOS}} \gg \frac{\text{CARGA DOS RAIOS CANAIS}}{\text{MASSA DOS RAIOS CANAIS}}$$

CARGAS DOS RAIOS SÃO EQUIVALENTES

SÓ PODE SER EXPLICADA PELAS MASSAS

MASSA DOS RAIOS CANAIS

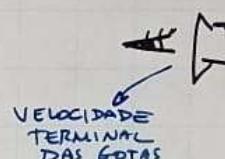
MASSA DOS RAIOS CATÓDICOS

VOLUME DOS RAIOS CATÓDICOS

VOLUME DOS RAIOS CANAIS

$$\frac{e}{m_e}$$

MILLIKAN:



$$q_1 =$$

$$q_2 =$$

