

IX FÍSICA NAS FÉRIAS VII ESCOLA AVANÇADA DE FÍSICA

□ QUE EXISTE ALÉM DE PRÓTONS, ELÉTRONS E
NÊUTRONS?
UMA INTRODUÇÃO ÀS PARTÍCULAS
ELEMENTARES

O Átomo Através da História

RAFAEL ALVES BATISTA

IX FÍSICA NAS FÉRIAS

VII ESCOLA AVANÇADA DE FÍSICA



Assuntos desta aula

- O átomo através da História
- Modelo atômico de Dalton
- Raios X
- Modelo atômico de Thomson
- Radioatividade
- Modelo atômico de Rutherford
- Modelo atômico de Bohr
- O átomo hoje

O Átomo na Grécia Antiga

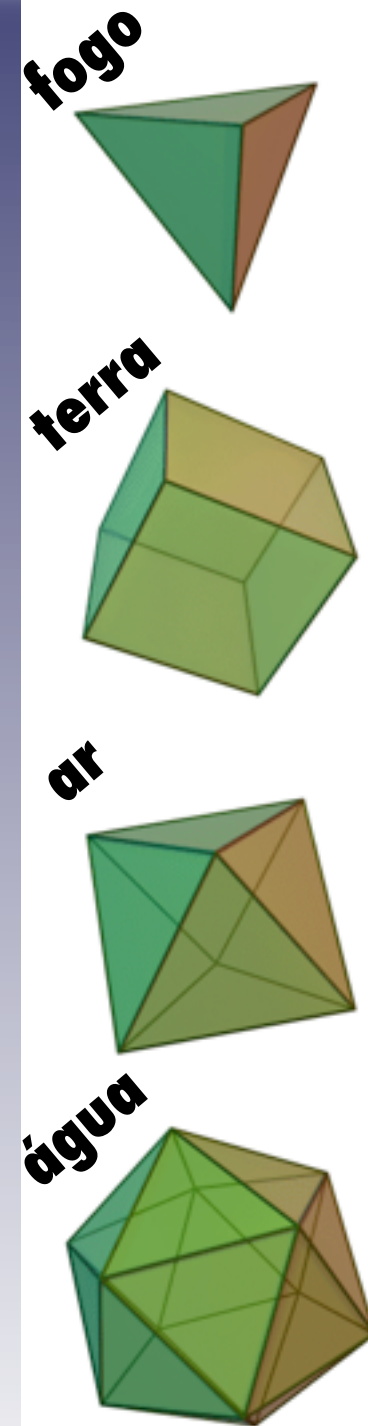
Principais Filósofos Atomistas

- Mochus de Sidão (aprox. 1200 a.C.)
- Leucipo de Mileto (aprox. 450 a.C.)
- Demócrito de Abdera (aprox. 430 a.C.)
- Epícuro de Sosígenes (aprox. 300 a.C.)

"Esta areia, vista de longe, parece ser um material contínuo, mas de perto é formada por grãos, sendo um material descontínuo. O mesmo ocorre com todos os materiais do Universo." (Demócrito)

Ideias Atomistas

- Tudo é composto por átomos
- Átomos são fisicamente, (mas não geometricamente) indivisíveis.
- Entre dois átomos há espaço vazio.
- Átomos são indestrutíveis.
- Átomos sempre existiram e sempre existirão.
- Existem infinitos átomos.
- Os infinitos átomos diferem em forma e tamanho.
- Os átomos se movem no vácuo.



O Átomo em Roma

“Veja o que acontece quando raios de sol entram em uma construção e de como eles iluminam os locais escuros. Você pode ver a infinidade de pequenas partículas que se deslocam em incontáveis caminhos ... sua dança é uma indicação de que os movimentos subjacentes da matéria são escondidos da nossa visão ... isto se origina do movimento de átomos em si (ou seja, seu movimento espontâneo). Então, os pequenos corpúsculos que são removidos da ‘dinâmica’ dos átomos, são postos em movimento por colisões invisíveis e por sua vez tornam-se como canhões golpeando corpos ligeiramente maiores. Portanto, o movimento emerge gradualmente a partir dos átomos até o nível que verificamos com nossos sentidos, de forma que esses corpúsculos se movem sob a luz do sol, movido por golpes que se mantêm invisíveis.”

Lucrécio (aprox. 60 a.C.)



O Átomo em Roma

“Veja o que acontece quando raios de sol entram em uma construção e de como eles iluminam os locais escuros. Você pode ver a infinidade de **pequenas partículas que se deslocam em incontáveis caminhos ...** sua dança é uma indicação de que os movimentos subjacentes da matéria são escondidos da nossa visão ... isto se origina do movimento de átomos em si (ou seja, seu movimento espontâneo). Então, os pequenos corpúsculos que são removidos da ‘dinâmica’ dos átomos, são postos em movimento por colisões invisíveis e por sua vez tornam-se como canhões golpeando corpos ligeiramente maiores. Portanto, o movimento emerge gradualmente a partir dos átomos até o nível que verificamos com nossos sentidos, de forma que esses corpúsculos se movem sob a luz do sol, movido por golpes que se mantêm invisíveis.”

Lucrécio (aprox. 60 a.C.)



O Átomo em Roma

Movimento Browniano -

Robert Brown (1827), Louis Bachelier (1900),
Albert Einstein (1905)

"Veja o que acontece quando raios de sol entram em uma construção e de como eles iluminam os locais escuros. Você pode ver a infinidade de **pequenas partículas que se deslocam em incontáveis caminhos ...** sua dança é uma indicação de que os movimentos subjacentes da matéria são escondidos da nossa visão ... isto se origina do movimento de átomos em si (ou seja, seu movimento espontâneo). Então, os pequenos corpúsculos que são removidos da 'dinâmica' dos átomos, são postos em movimento por colisões invisíveis e por sua vez tornam-se como canhões golpeando corpos ligeiramente maiores. Portanto, o movimento emerge gradualmente a partir dos átomos até o nível que verificamos com nossos sentidos, de forma que esses corpúsculos se movem sob a luz do sol, movido por golpes que se mantêm invisíveis."

Lucrécio (aprox. 60 a.C.)



O Paramāṇus na Índia

VAISHESHIKA (séc. VI a.C.)

- O mundo é formado por paramāṇus que existem na mesma quantidade que os elementos.
- Raciocínio para demonstrar que a matéria não é contínua:

pedra $\Rightarrow$ infinitas "pecinhas"

montanha $\Rightarrow$ infinitas "pecinhas"

"pecinhas" da pedra $\Rightarrow$ montanha



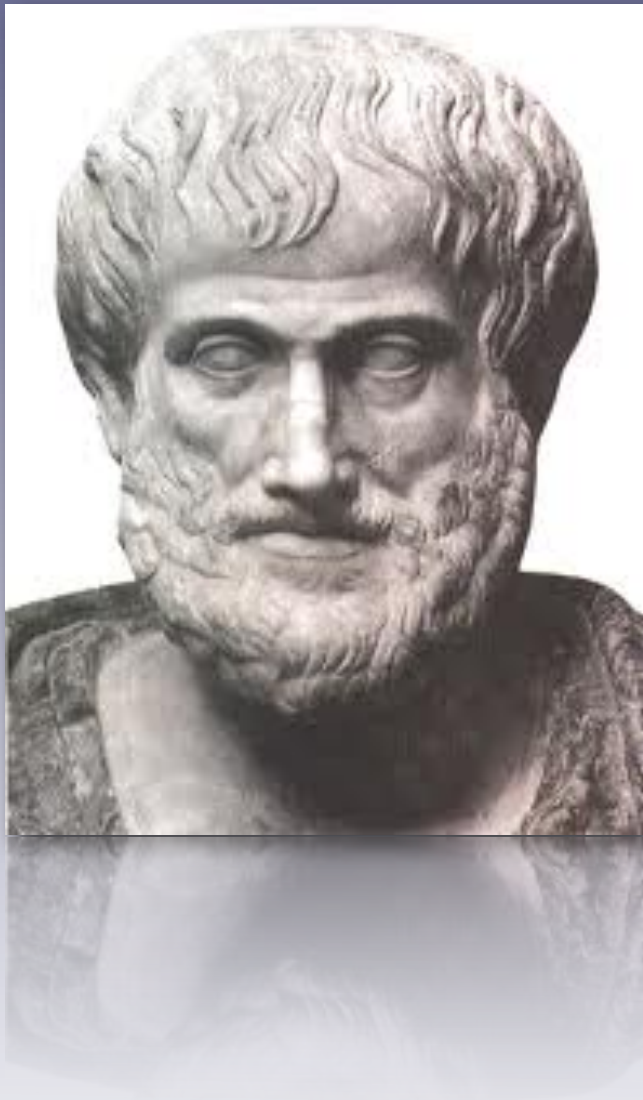
PARADOXO

- Portanto a matéria é composta por unidades indivisíveis, os paramāṇus.

JAINISMO (séc. VI a.C.)

- O mundo é composto inteiramente por paramāṇus, exceto pela alma.
- Cada paramāṇus tem um sabor, um cheiro, uma cor e dois "toques".
- Os paramāṇus podem existir em dois estados:
sútil: não têm volume
bruto: ocupam um volume finito
- Os paramāṇus movem-se através de linhas retas a menos que interajam com outro paramāṇus.
- Da composição de paramāṇus surgem os seis estados: terra, água, sombra, objetos sensíveis, matéria do karma, matéria imprópria.

O Universo de Aristóteles



- Elementos existentes são: ar, água, terra, fogo e éter.
- Estes elementos são contínuos.
- Movimento: potência $\Rightarrow$ ato.
- As quatro causas:
 - i) causa material
 - ii) causa formal
 - iii) causa eficiente
 - iv) causa final
- O universo aristotélico: o universo é uma esfera gigantesca à qual se prendem as estrelas. Dentro desta esfera haviam outras esferas, cada uma correspondente a um planeta e à Lua. No centro destas esferas estaria a Terra.
- O Universo aristotélico perdurou até o Renascimento.

O Atomismo no Renascimento

Círculo de Northumberland

- Henry Percy (1585-1632) e Thomas Hariot (1560-1621) ⇒ disseminaram o atomismo na Inglaterra e influenciaram Francis Bacon (1561-1626) ⇒ atomismo clássico.

Robert Boyle (1627-1691)

- Aponta problemas na física aristotélica que surgem da química.
- Propõe o atomismo como solução.
- Baseia-se no mecanicismo.

- Giordano Bruno (1548-1600) e Thomas Hobbes (1588-1679).

- Galileu Galilei (1627-1691) ⇒ sistema de mundo onde todos os fenômenos são produzidos por matéria em movimento.

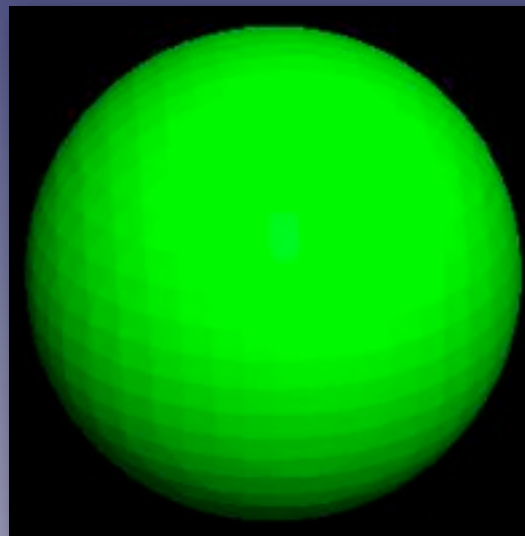
René Descartes (1596-1650)

- “Corpúsculos” de matéria.
- Não pode haver vácuo.
- Os corpúsculos estão constante em movimento para evitar a formação do vácuo.

Pierre Gassendi (1592-1655)

- Tentativa de “purificar” o atomismo clássico.
- Eliminar as conclusões heréticas.

O Modelo Atômico de Dalton



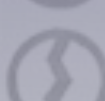
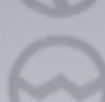
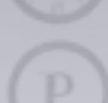
ELEMENTS					
	Hydrogen	1		Strontian	46
	Azote	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	50
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	20		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

- Primeira teoria científica do átomo.
- Esfera indestrutível e indivisível.
- Átomos podem ser combinados para formar compostos químicos.
- Dalton estimou as massas atômicas.
- Falhas na teoria de Dalton: ele não assumiu a existência de moléculas para alguns átomos; ele assumiu que a combinação mais simples entre dois elementos é um átomo de cada.
- Correções nas massas feitas por Avogadro.

O Modelo Atômico de Dalton

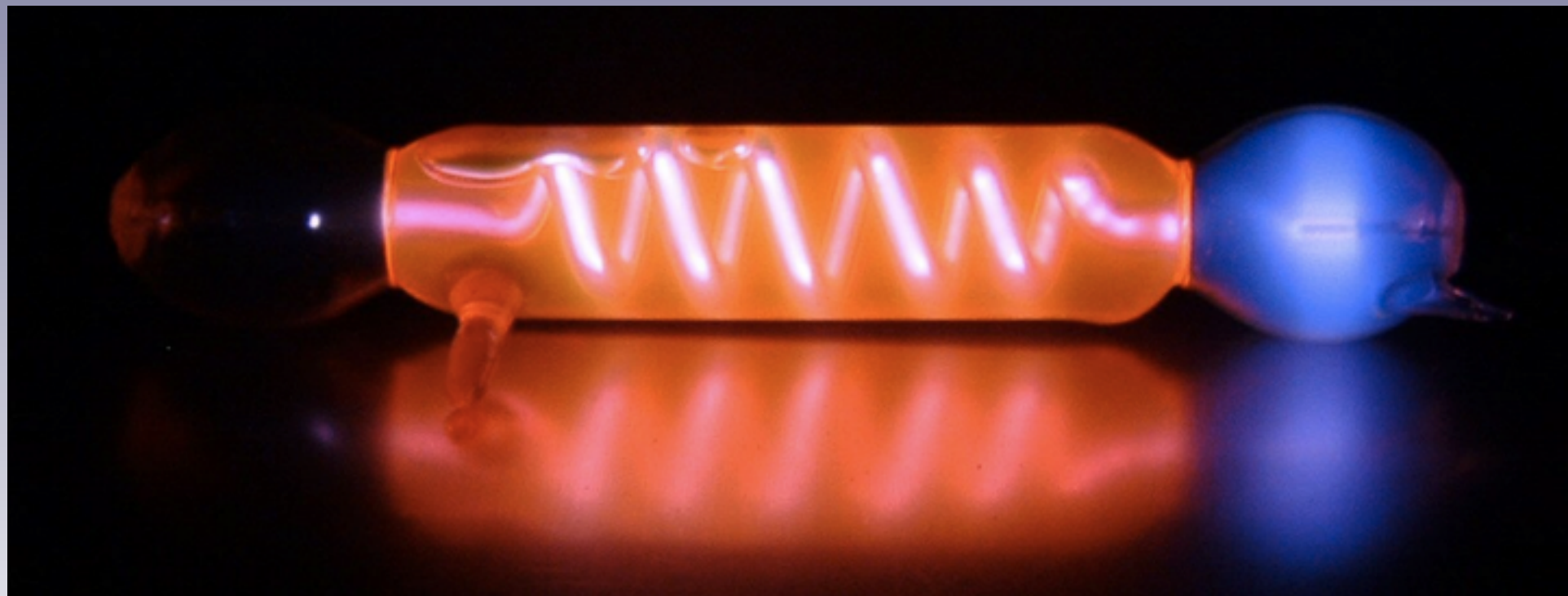


- Primeira teoria científica do átomo.
- Esfera indestrutível e indivisível.
- Átomos podem ser combinados para formar compostos químicos.
- Dalton estimou as massas atômicas.
- Falhas na teoria de Dalton: ele não assumiu a existência de moléculas para alguns átomos; ele assumiu que a combinação mais simples entre dois elementos é um átomo de cada.
- Correções nas massas feitas por Avogadro.

ELEMENTS					
	Hydroge	1		Strontian	46
	Alum	5		Barytes	68
	Carbon	5		Iron	50
	Oxygen	7		Zinc	56
	Phosphorus	9		Copper	56
	Sulphur	13		Lead	90
	Magnesia	20		Silver	190
	Lime	24		Gold	190
	Soda	28		Platina	190
	Potash	42		Mercury	167

Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Geissler - inventado por Henrich Geissler em 1857.
- Eram produzidos em massa na década de 1880 e tinha uso recreacional.
- Deram origem aos tubos de Crookes e tubos de raios catódicos.
- Originaram lâmpadas de neon.

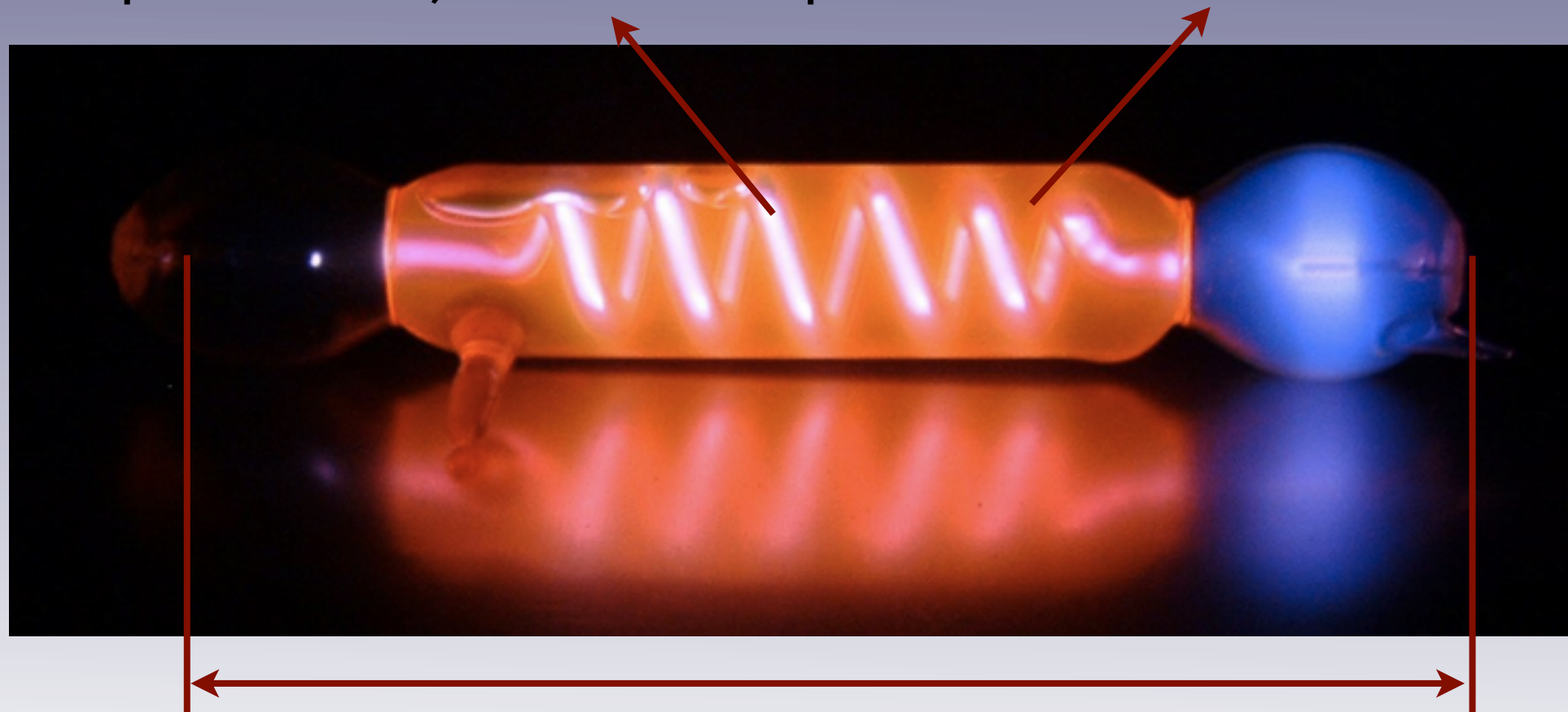


<http://www.crtsite.com/page6-2.html>

Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Geissler - inventado por Henrich Geissler em 1857.
- Eram produzidos em massa na década de 1880 e tinha uso recreacional.
- Deram origem aos tubos de Crookes e tubos de raios catódicos.
- Originaram lâmpadas de neon.

luz emitida pela reabsorção de elétrons por átomos gás rarefeito



<http://www.crtsite.com/page6-2.html>

diferença de potencial entre os terminais

Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Crookes - inventado por William Crookes e outros entre 1869-1875.
- Princípio semelhante ao do tubo de Geissler.
- Quando aplica-se uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo alguns “raios” partem do cátodo em direção ao ânodo ⇒ **raios catódicos**.

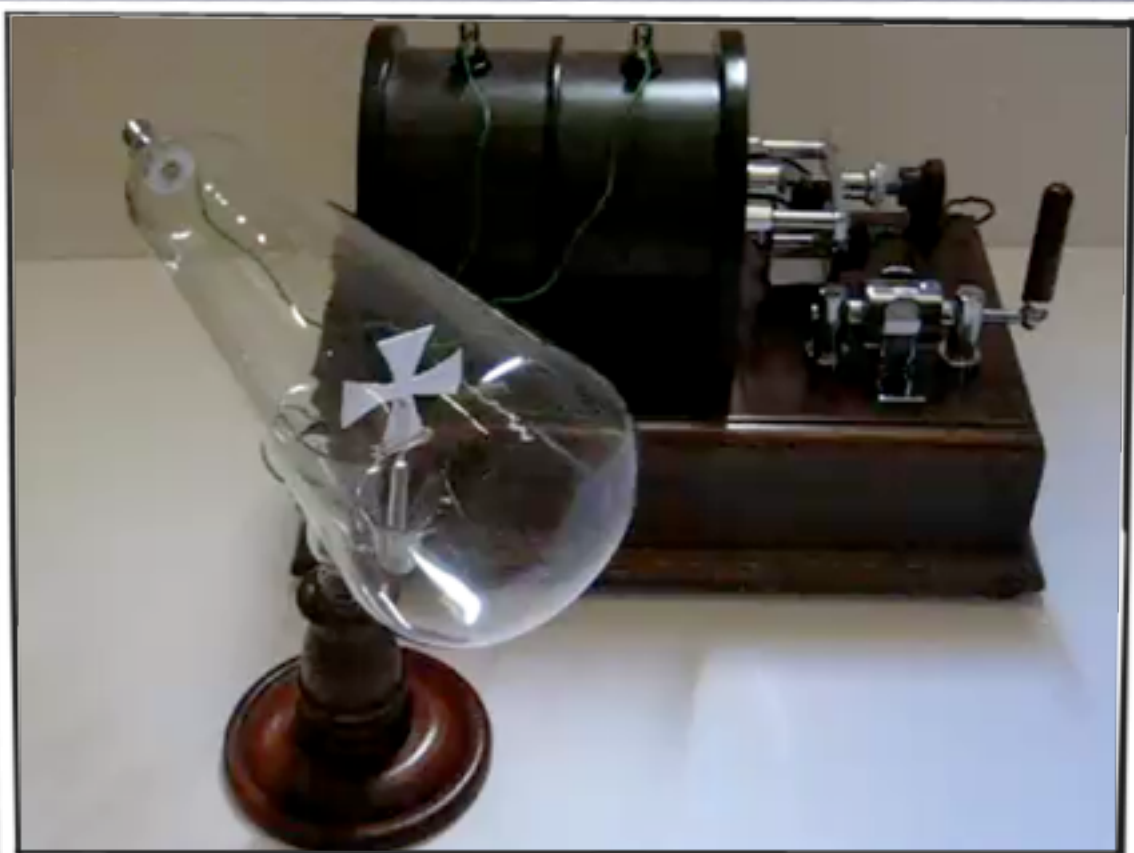
http://youtu.be/Xt7ZWEDZ_GI

<http://youtu.be/7YHwMWcxeX8>

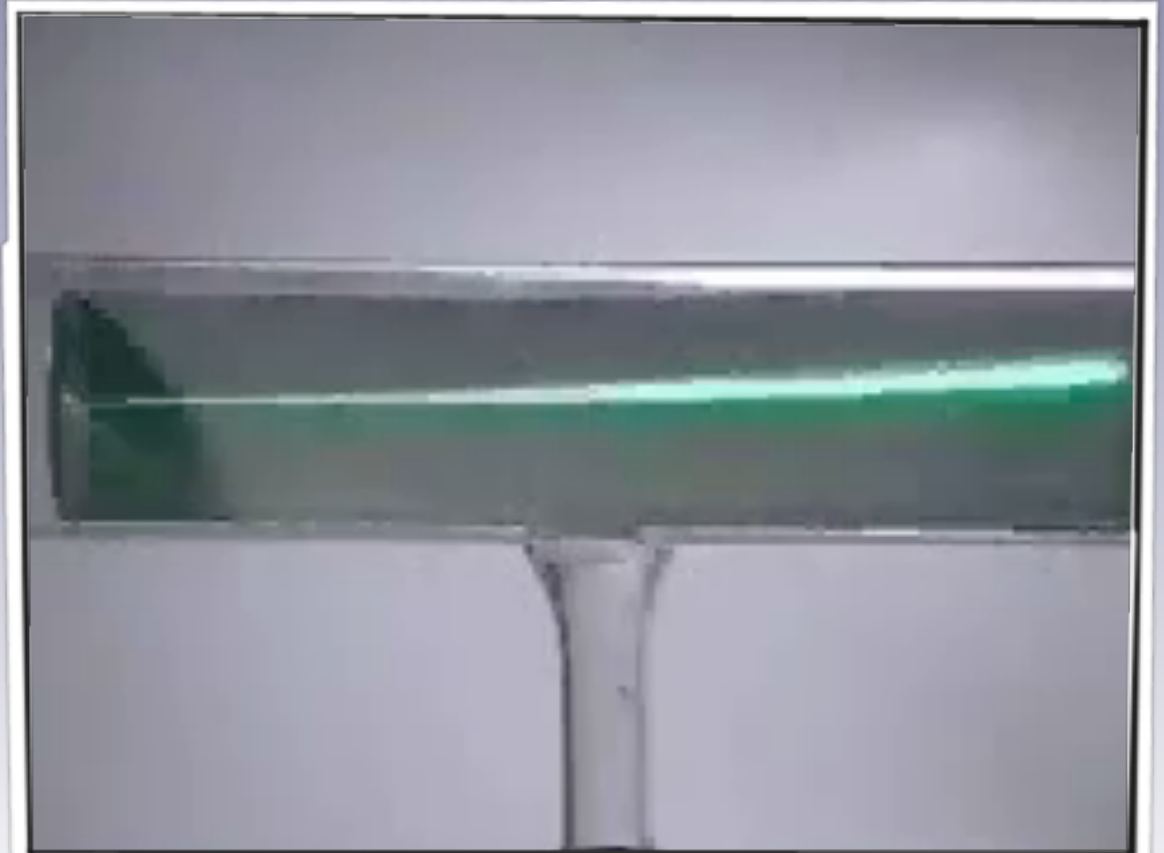
Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Crookes - inventado por William Crookes e outros entre 1869-1875.
- Princípio semelhante ao do tubo de Geissler.
- Quando aplica-se uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo alguns "raios" partem do cátodo em direção ao ânodo $\Rightarrow$ **raios catódicos**.

http://youtu.be/Xt7ZWEDZ_GI



<http://youtu.be/7YHwMWcxeX8>

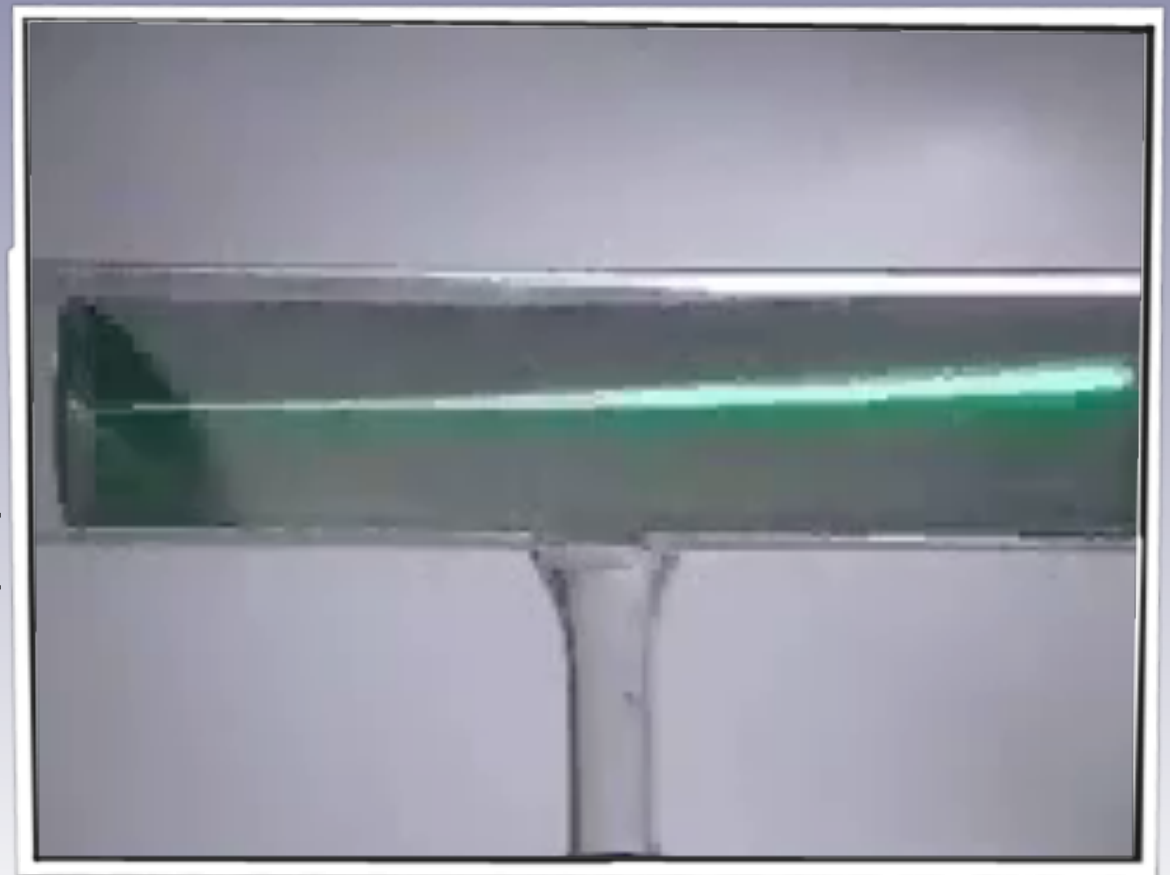


Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Crookes - inventado por William Crookes e outros entre 1869-1875.
- Princípio semelhante ao do tubo de Geissler.
- Quando aplica-se uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo alguns “raios” partem do cátodo em direção ao ânodo $\Rightarrow$ **raios catódicos**.

http://youtu.be/Xt7ZWEDZ_GI

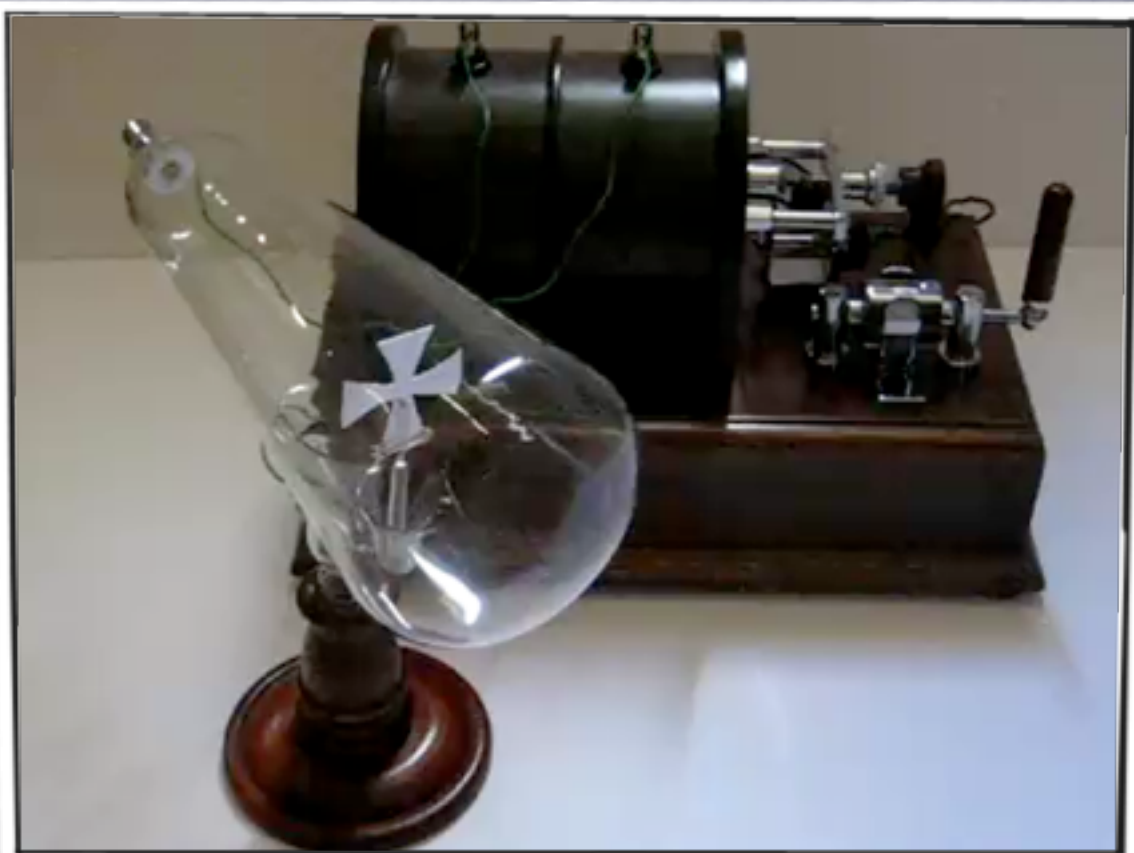
<http://youtu.be/7YHwMWcxeX8>



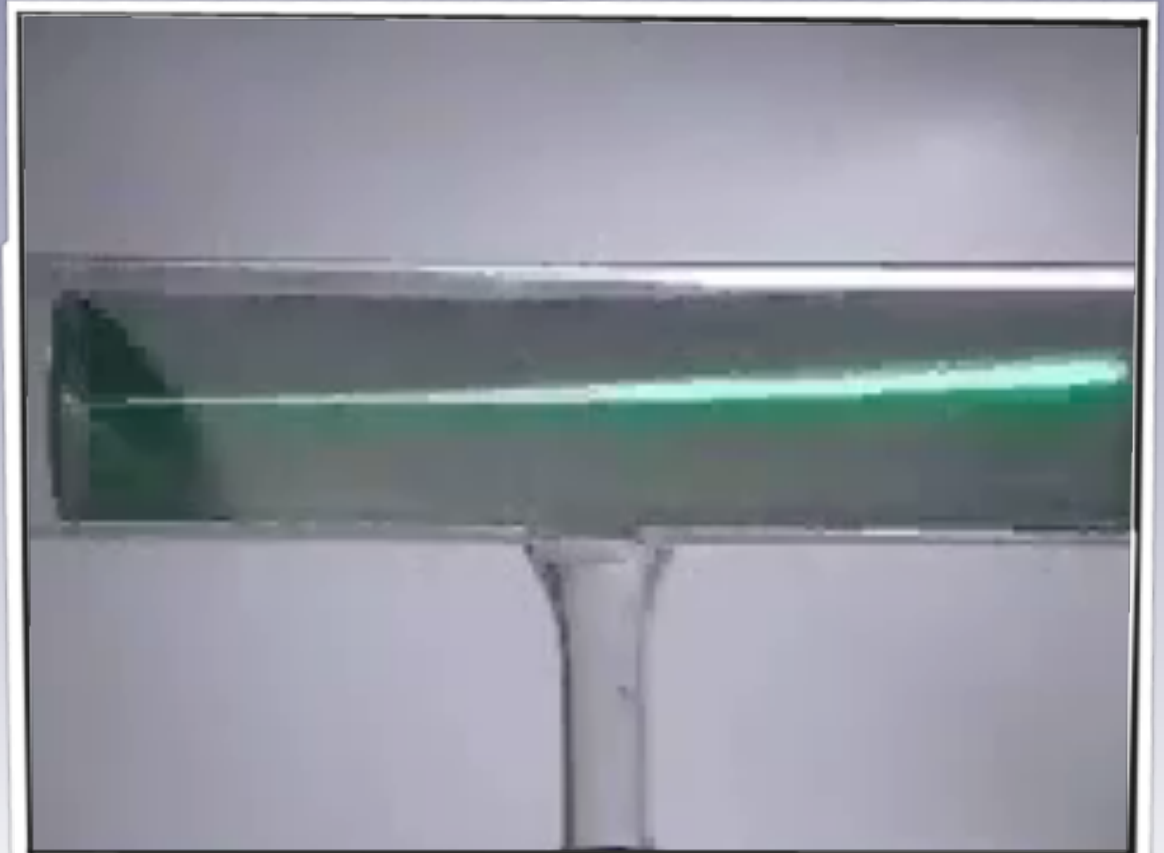
Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Crookes - inventado por William Crookes e outros entre 1869-1875.
- Princípio semelhante ao do tubo de Geissler.
- Quando aplica-se uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo alguns "raios" partem do cátodo em direção ao ânodo $\Rightarrow$ **raios catódicos**.

http://youtu.be/Xt7ZWEDZ_GI

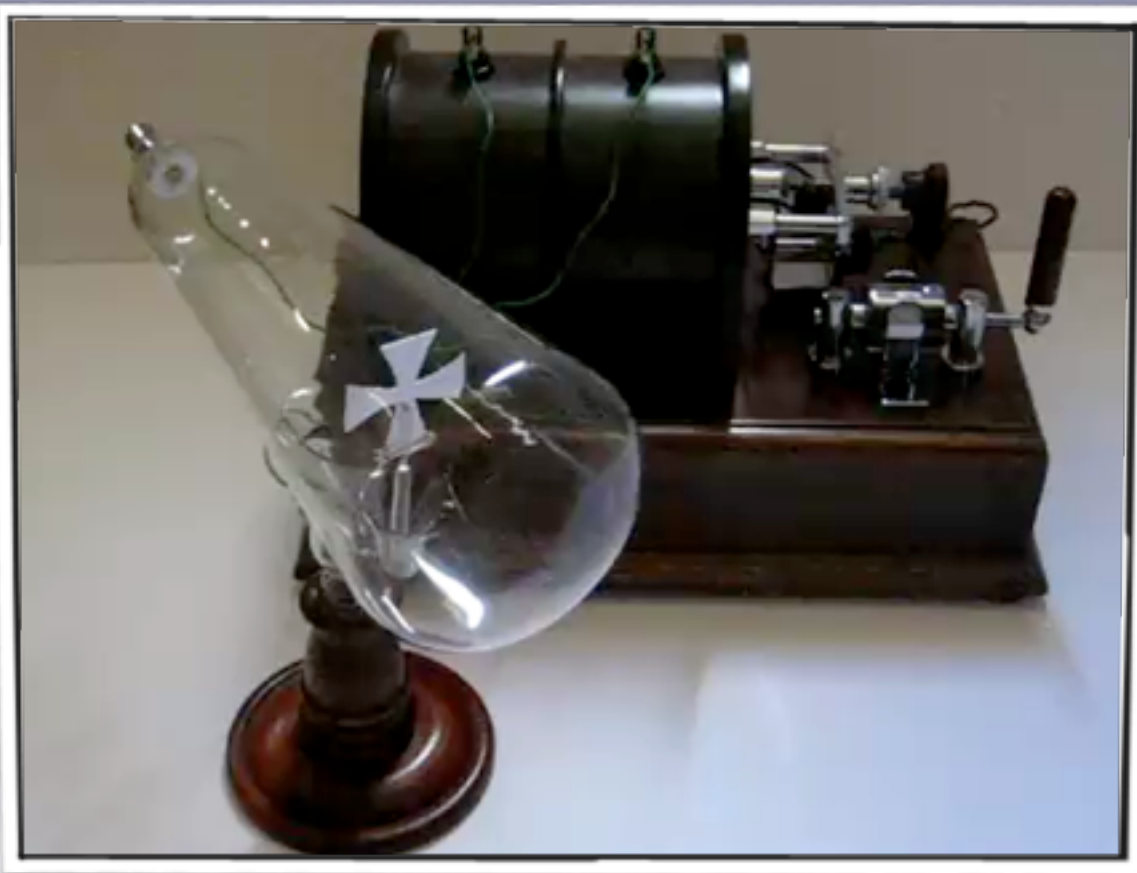


<http://youtu.be/7YHwMWcxeX8>



Europa, segunda metade do séc. XIX

- Tubo de Crookes - inventado por William Crookes e outros entre 1869-1875.
- Princípio semelhante ao do tubo de Geissler.
- Quando aplica-se uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo alguns “raios” partem do cátodo em direção ao ânodo $\Rightarrow$ **raios catódicos**.

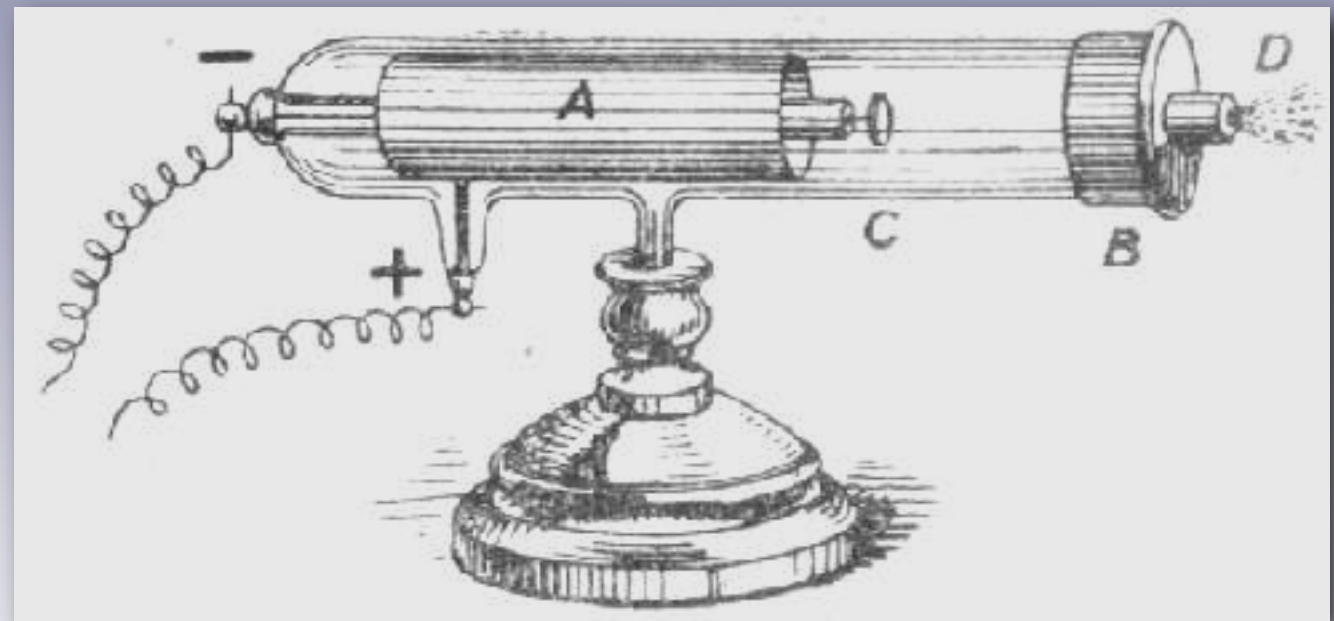


http://youtu.be/Xt7ZWEDZ_GI

<http://youtu.be/7YHwMWcxeX8>

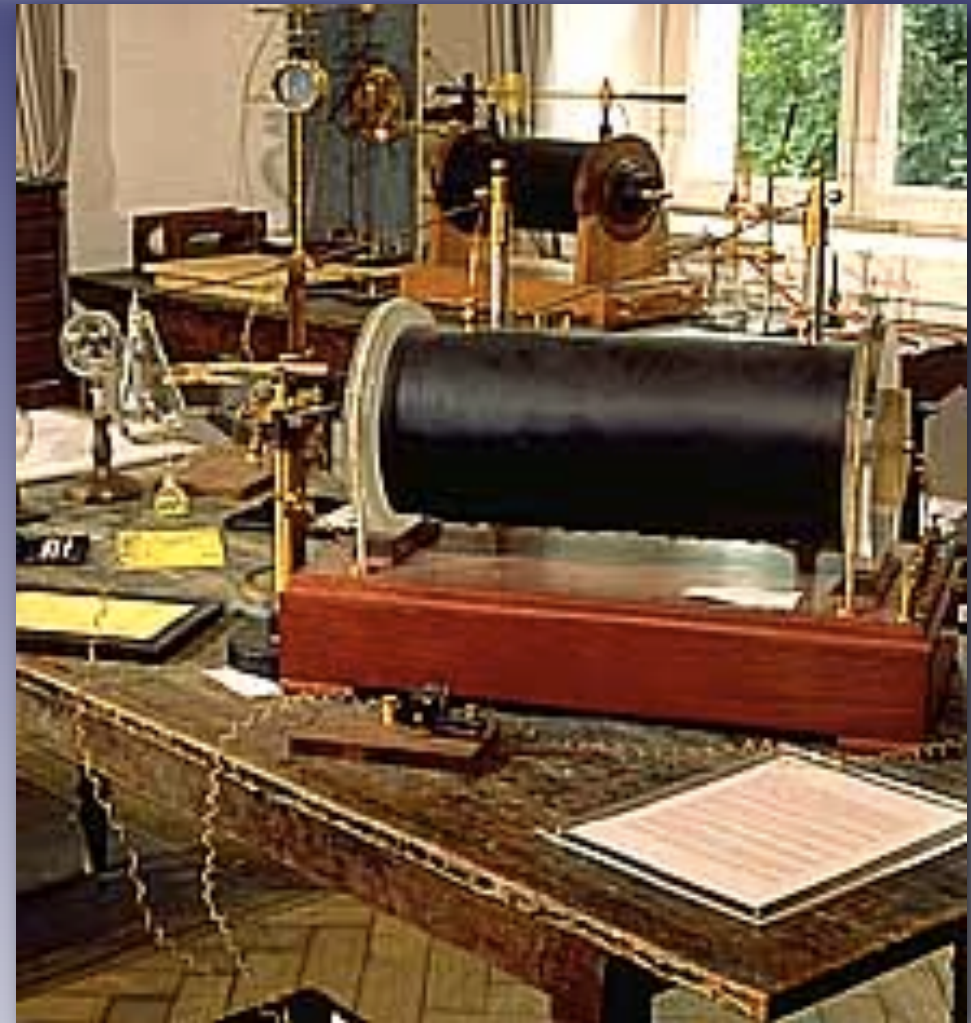
Europa, segunda metade do séc. XIX

- Uma modificação do tubo de Crookes que permite a saída dos raios catódicos é conhecida como tubo de Lenard.
- Estes raios que saem do tubo e podem ser estudados no ar são conhecidos como raios de Lenard.
- Corpos luminescentes colocados próximos ao tubo, de forma a receber os raios de Lenard, se tornam luminosos.
- Lenard observou também que esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios carregados.
- Estas propriedades fizeram Lenard pensar que os raios catódicos não poderiam ser partículas, mas sim um tipo de radiação.

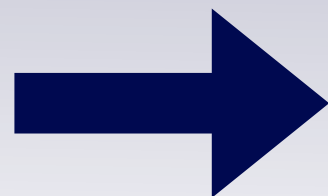


Alemanha, 1895...

- W. C. Röntgen realizava estudos com raios de Lenard.
- Ele utilizava um tubo de Crookes coberto com papel preto.
- Em sua mesa havia um pedaço de papel feito de um material fluorescente.
- Aparentemente esta radiação não era capaz de atravessar o papel preto que envolvia o tubo.
- Esta radiação era capaz de atravessar objetos espessos.
- A radiação percorria uma trajetória reta (por isto era chamada de raio) e era totalmente desconhecida, daí o nome raios X.
- Röntgen observou que esta radiação não era nem refletida nem refratada e que tinha alto poder de penetração.
- Os raios X também não sofrem efeitos de interferência e não são polarizados e não são defletidos por ímãs.



Hipóteses



- Ondas eletromagnéticas transversais
- Ondas eletromagnéticas longitudinais
- Pulsos não periódicos de radiação eletromagnética
- Raios catódicos modificados

Alemanha, 1895...(2 semanas depois)



*"Eu vi minha morte"
(Anna Bertha)*

Alemanha, alguns anos depois...



**Candelabra, Decorative
and Miniature Lamps ..**

RECEPTACLES, SOCKETS and SHADES.
Catalogue No. 9044.

X RAY APPARATUS.

Coils, X Ray Tubes
(Adjustable Vacuum),

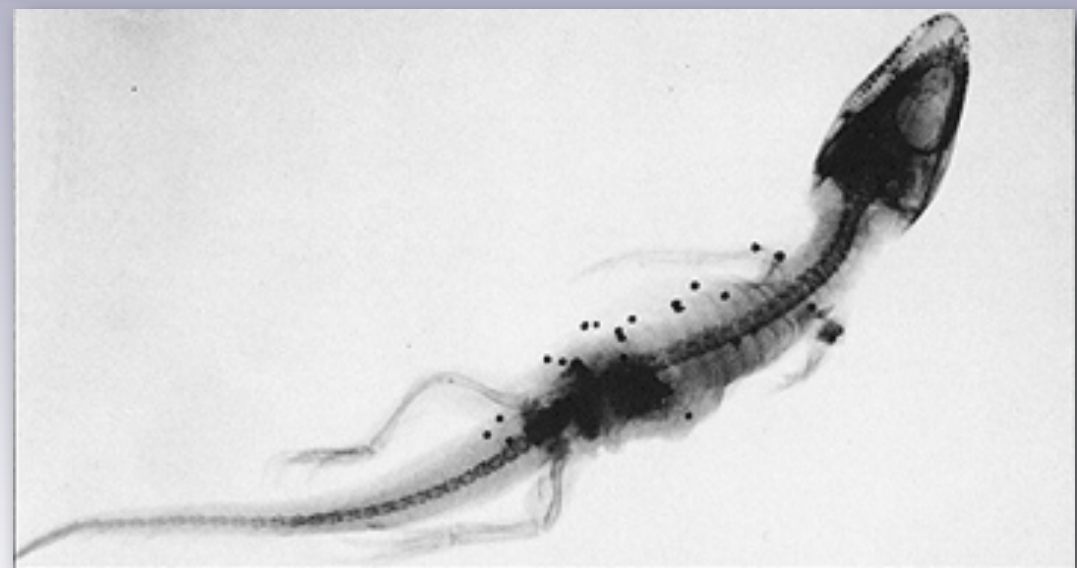
Fluoroscopes
(Barium Platino-Cyanide and
Calcium Tungstate).

MOTOR GENERATORS.
Catalogue No. 9050.

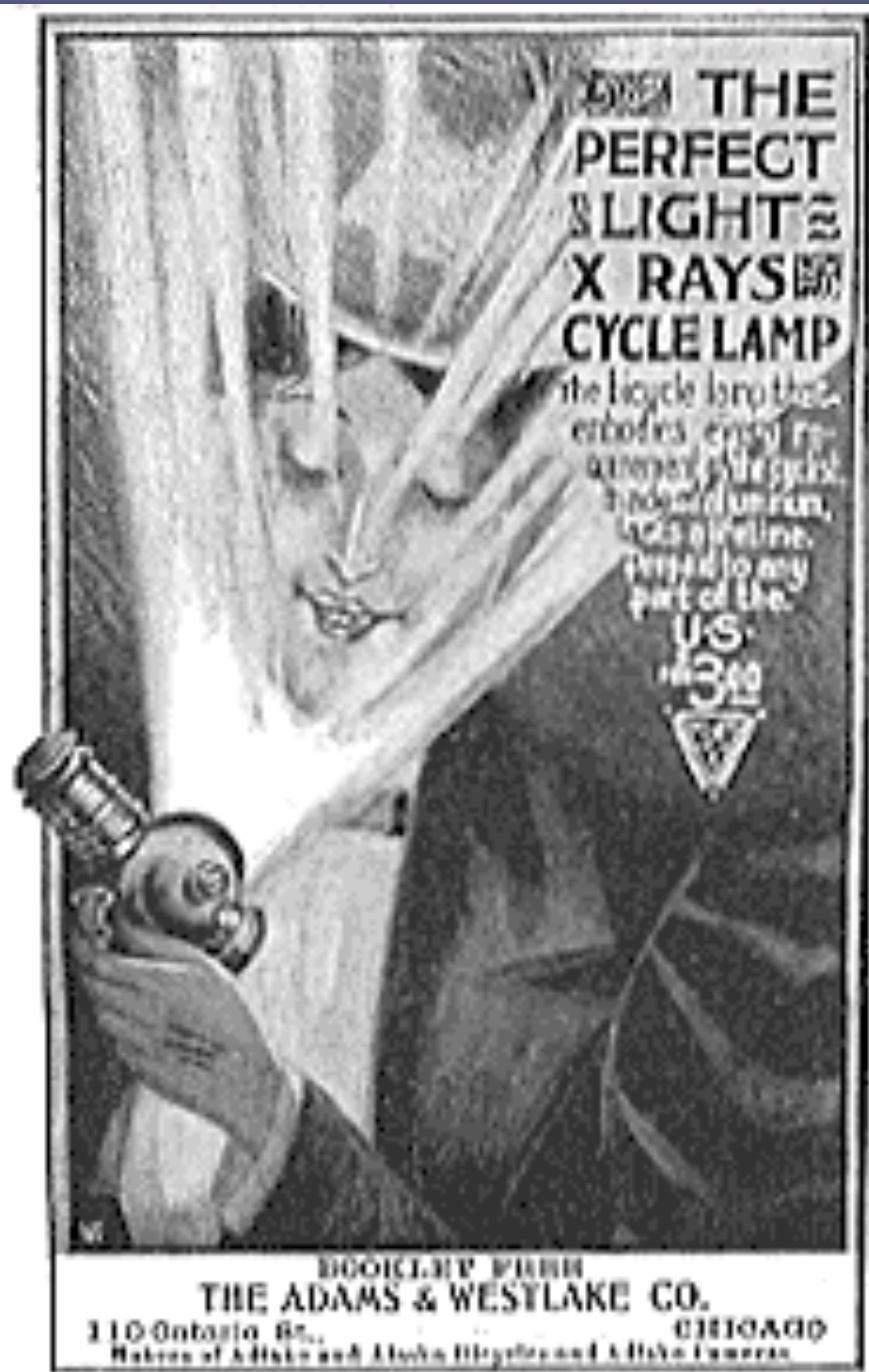
Edison Decorative and Miniature Lamp Department,
(GENERAL ELECTRIC CO.)

WE ALSO RENT
Electrically Illuminated
Devices,
Lamps and Receptacles,
on
Moderate Terms.

HARRISON, N. J.



Alemanha, alguns anos depois...

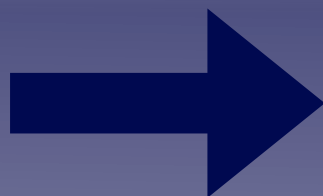


Alemanha, alguns anos depois...



A Descoberta do Elétron

O que são os raios catódicos?



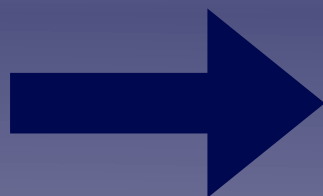
- ondas
- átomos
- moléculas

- J. J. Thomson, J. S. Townsend e H. A. Wilson, 1896.
- Raios catódicos têm carga (deflexão por campos magnéticos e elétricos).
- Thomson estimou a massa dos raios catódicos através do aquecimento de uma junção térmica quando estes raios incidiam sobre a mesma.
- A massa estimada por Thomson era cerca de um milésimo da massa do hidrogênio.
- Thomson estimou a razão entre carga e massa do elétron e mostrou que este valor independe do material do cátodo.
- O nome "electron" (unidade de carga elétrica) foi proposto por G. J. Stoney, 1894.
- Thomson acreditava que os corpúsculos (elétrons) eram provenientes do gás dentro do tubo de raios catódicos, indicando que os átomos eram divisíveis.

<http://youtu.be/XU8nMKzbT8>

A Descoberta do Elétron

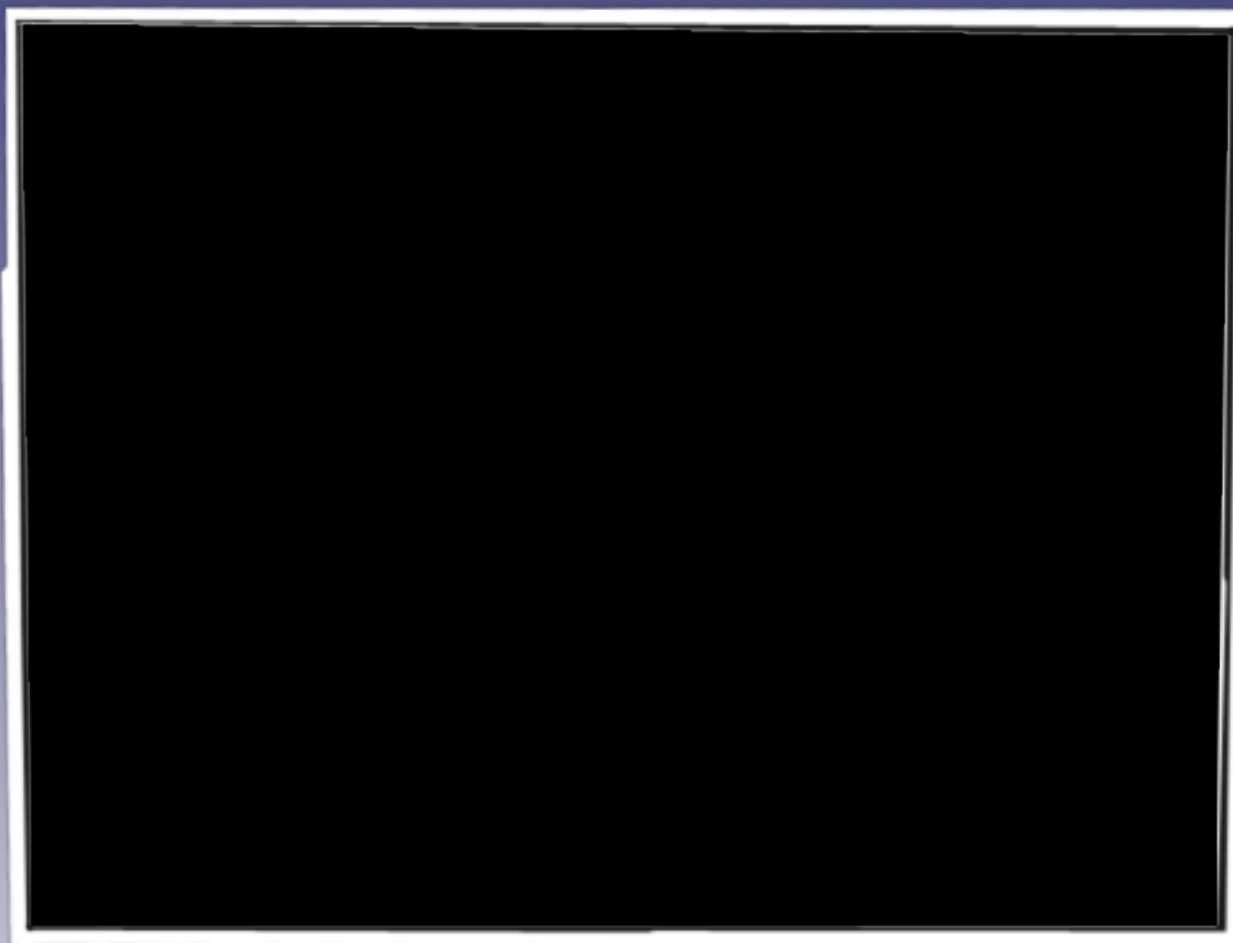
O que são os raios catódicos?



- ondas
- átomos
- moléculas

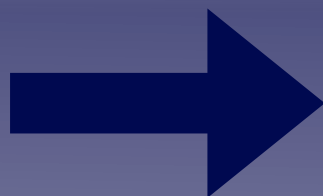
- J. J. Thomson, J. S. Townsend e H. A. Wilson, 1896.
- Raios catódicos têm carga (deflexão por campos magnéticos e elétricos).
- Thomson estimou a massa dos raios catódicos através do aquecimento de uma junção térmica quando estes raios incidiam sobre a mesma.
- A massa estimada por Thomson era cerca de um milésimo da massa do hidrogênio.
- Thomson estimou a razão entre carga e massa do elétron e mostrou que este valor independe do material do cátodo.
- O nome "electron" (unidade de carga elétrica) foi proposto por G. J. Stoney, 1894.
- Thomson acreditava que os corpúsculos (elétrons) eram provenientes do gás dentro do tubo de raios catódicos, indicando que os átomos eram divisíveis.

<http://youtu.be/XU8nMKzbT8>



A Descoberta do Elétron

O que são os raios catódicos?



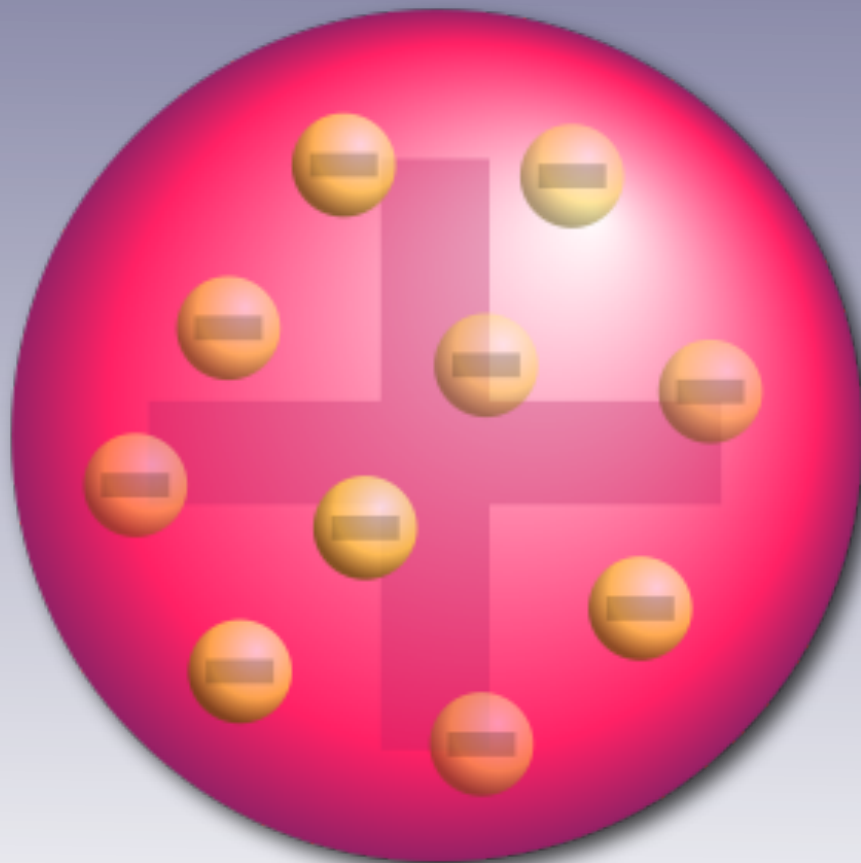
- ondas
- átomos
- moléculas

- J. J. Thomson, J. S. Townsend e H. A. Wilson, 1896.
- Raios catódicos têm carga (deflexão por campos magnéticos e elétricos).
- Thomson estimou a massa dos raios catódicos através do aquecimento de uma junção térmica quando estes raios incidiam sobre a mesma.
- A massa estimada por Thomson era cerca de um milésimo da massa do hidrogênio.
- Thomson estimou a razão entre carga e massa do elétron e mostrou que este valor independe do material do cátodo.
- O nome "electron" (unidade de carga elétrica) foi proposto por G. J. Stoney, 1894.
- Thomson acreditava que os corpúsculos (elétrons) eram provenientes do gás dentro do tubo de raios catódicos, indicando que os átomos eram divisíveis.

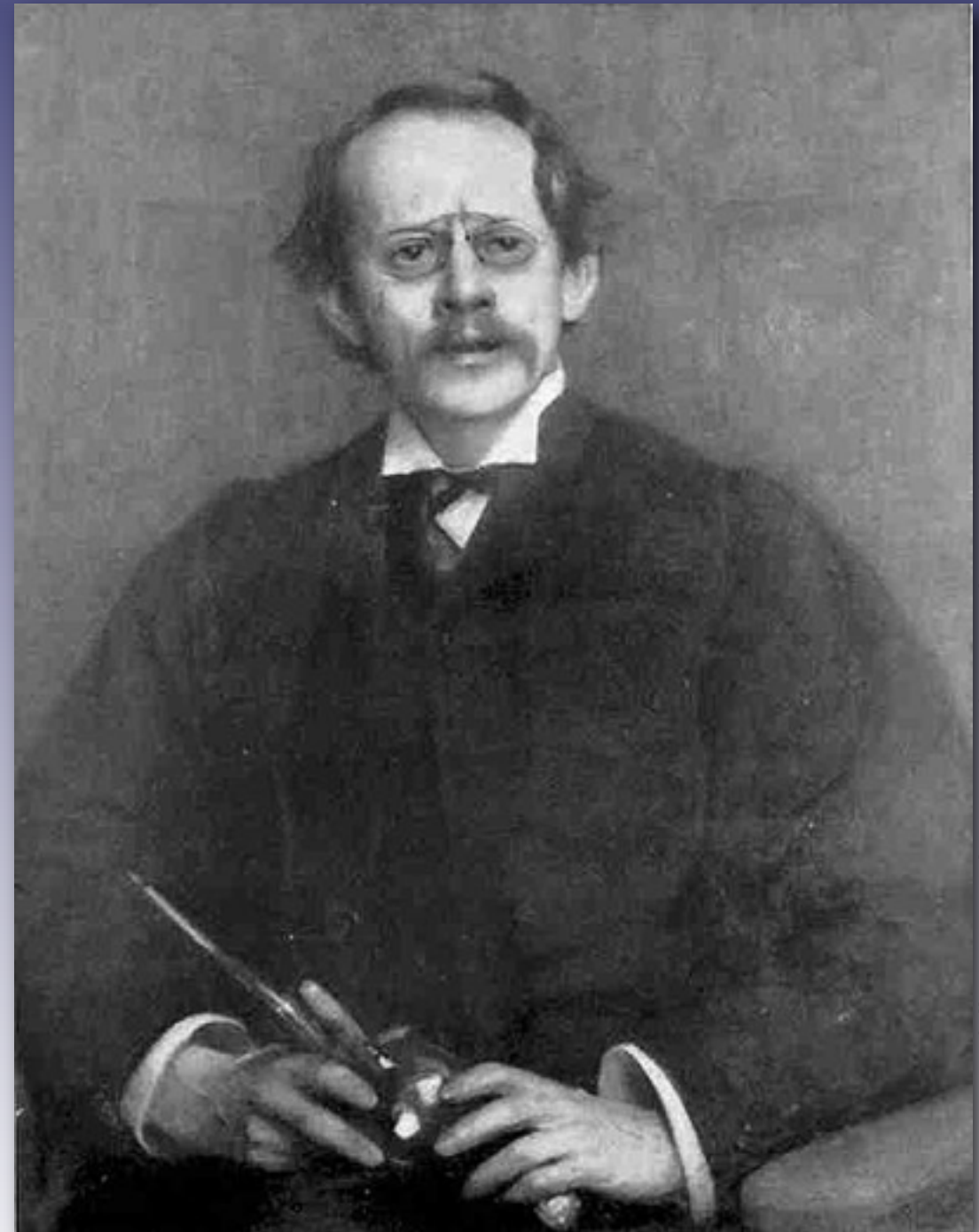
<http://youtu.be/XU8nMKkzbT8>

O Modelo Atômico de Thomson

- Modelo do “pudim de passas”.
- O átomo é eletricamente neutro.
- O átomo é uma esfera maciça com cargas positivas, com cargas negativas espalhadas no interior desta esfera.



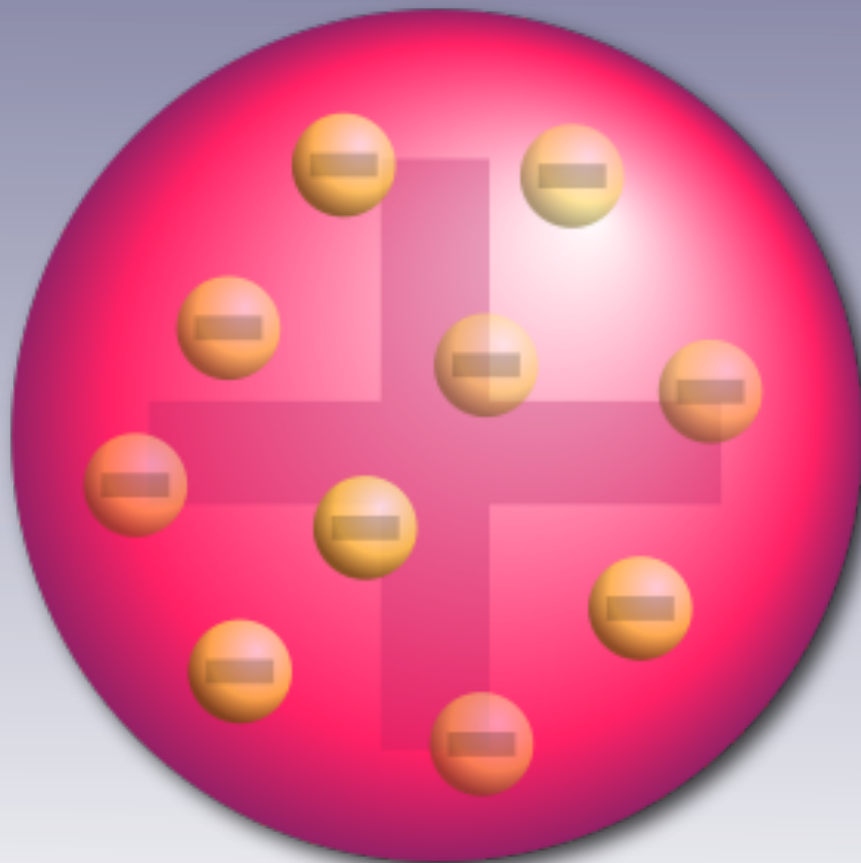
http://simple.wikipedia.org/wiki/Atomic_theory



<http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Jj-thomson3.jpg>

O Modelo Atômico de Thomson

- Modelo do “pudim de passas”.
- O átomo é eletricamente neutro.
- O átomo é uma esfera maciça com cargas positivas, com cargas negativas espalhadas no interior desta esfera.



http://simple.wikipedia.org/wiki/Atomic_theory



<http://www.microwaverecipescobook.com/cake-recipes/microwave-plum-pudding-cake>

O Modelo Atômico de Thomson

- Modelo do “pudim de passas”.
- O átomo é eletricamente neutro.
- O átomo é uma esfera maciça com cargas positivas, com cargas negativas espalhadas no interior desta esfera.



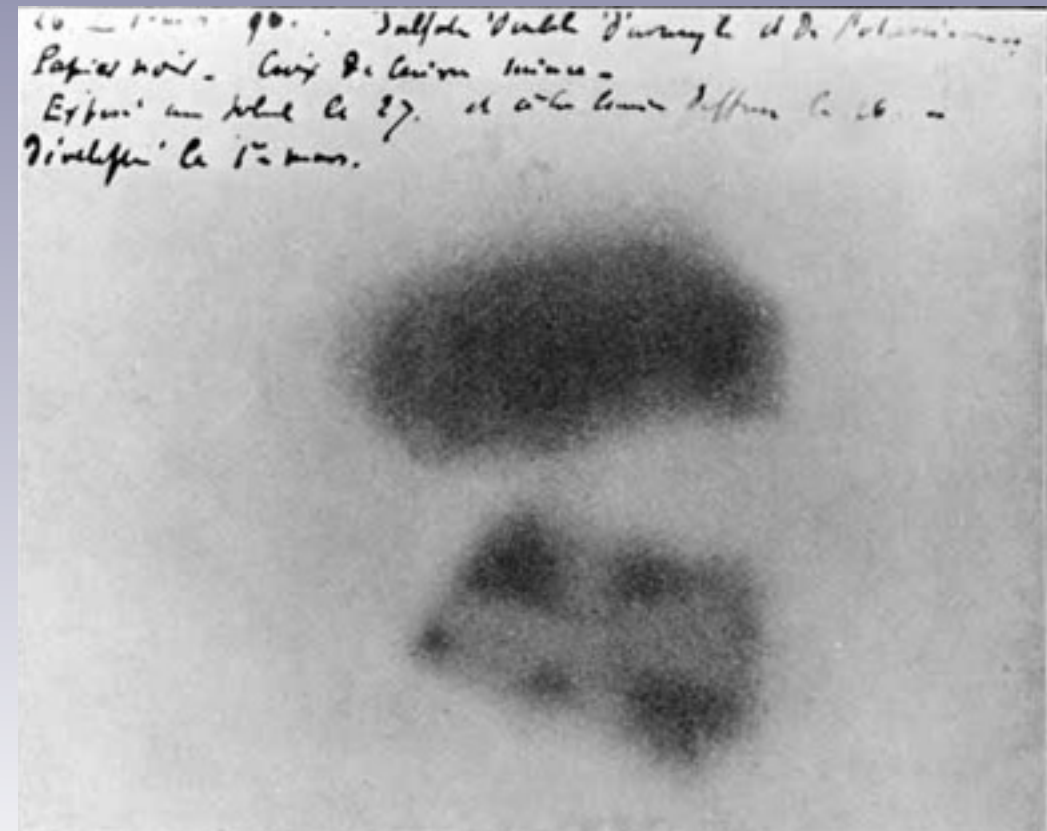
http://simple.wikipedia.org/wiki/Atomic_theory



<http://www.microwaverecipescookbook.com/cake-recipes/microwave-plum-pudding-cake>

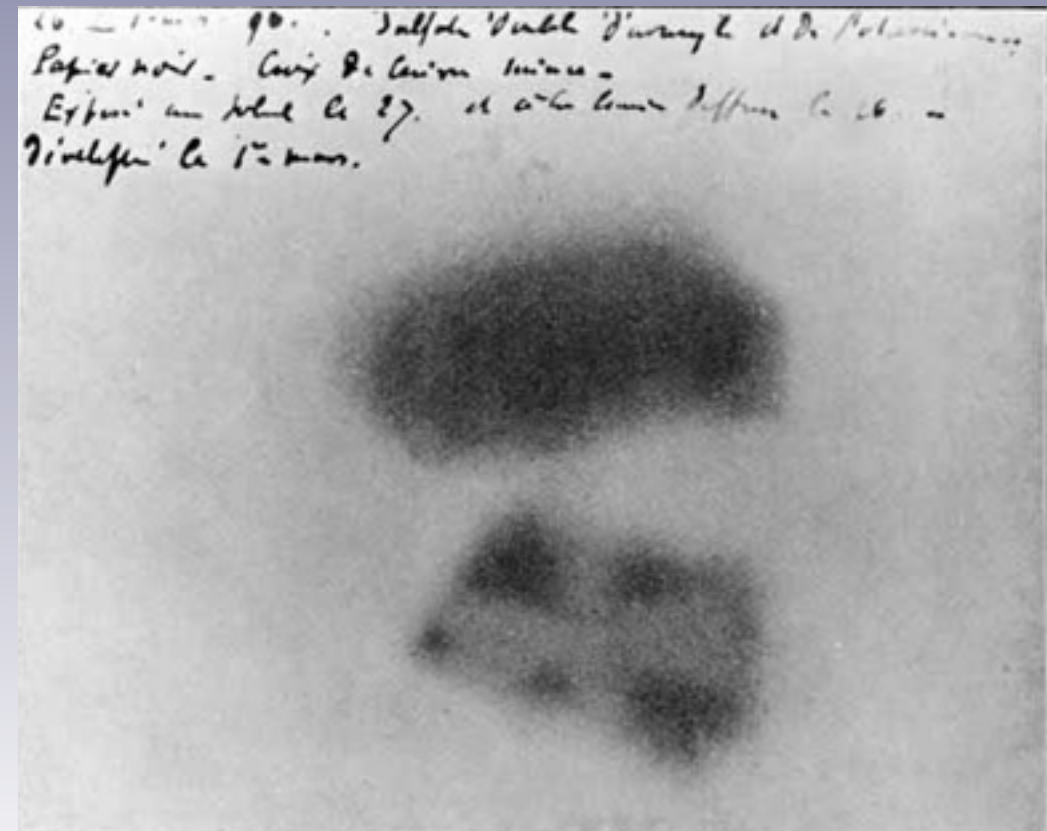
França, 1896...

- Existe alguma relação entre a emissão de raios X pelos tubos de Crookes e a luminescência do vidro?
- Poincaré: talvez os materiais luminescentes emitam raios X.
- J. J. Thomson (Inglaterra) não observa nenhuma radiação penetrante emitida por corpos luminescentes.
- Becquerel realizaria um experimento para responder à pergunta de Poincaré: utilizaria um composto de urânio que absorveria energia solar e reemitiria raios X.
- Becquerel cobriu chapas fotográficas com papel preto e deixou na gaveta, junto ao composto de urânio.
- No dia do experimento estava nublado e Becquerel o adiou.
- No entanto, Becquerel decidiu revelar as chapas fotográficas e notou uma intensa marca, associada à emissão por parte do composto de urânio.



França, 1896...

- Existe alguma relação entre a emissão de raios X pelos tubos de Crookes e a luminescência do vidro?
- Poincaré: talvez os materiais luminescentes emitam raios X.
- J. J. Thomson (Inglaterra) não observa nenhuma radiação penetrante emitida por corpos luminescentes.
- Becquerel realizaria um experimento para responder à pergunta de Poincaré: utilizaria um composto de urânio que absorveria energia solar e reemitiria raios X.
- Becquerel cobriu chapas fotográficas com papel preto e deixou na gaveta, junto ao composto de urânio.
- No dia do experimento estava nublado e Becquerel o adiou.
- No entanto, Becquerel decidiu revelar as chapas fotográficas e notou uma intensa marca, associada à emissão por parte do composto de urânio.



A Radioatividade: 1898-1903

- 1898: O casal Curie (Marie Curie e Pierre Curie) descobre o Polônio e alguns meses depois o Rádio.
- 1899: Ernest Rutherford verifica, através de experimentos de deflexões magnéticas, que sais de urânio emitem dois tipos de radiação: uma com carga elétrica positiva (radiação alfa) e outra com carga elétrica negativa (radiação beta).
- Rutherford verifica que o poder de penetração da radiação alfa é baixo.
- 1900: Paul Villard descobre radiação com alto poder de penetração, e que não é defletida por campos magnéticos (radiação gama).
- 1903: Becquerel e o casal Curie ganham o prêmio Nobel pela descoberta da radioatividade.

* Ver textos do prof. Roberto Martins, que questiona o papel de Becquerel na descoberta da radioatividade. Textos disponíveis em: <http://ghhc.ifi.unicamp.br/>



A Radioatividade: 1898-1903

74 *The Literary Digest for August 21, 1929*

GILBERT RADIUM CLOCKS



*Time in sight
day or night*

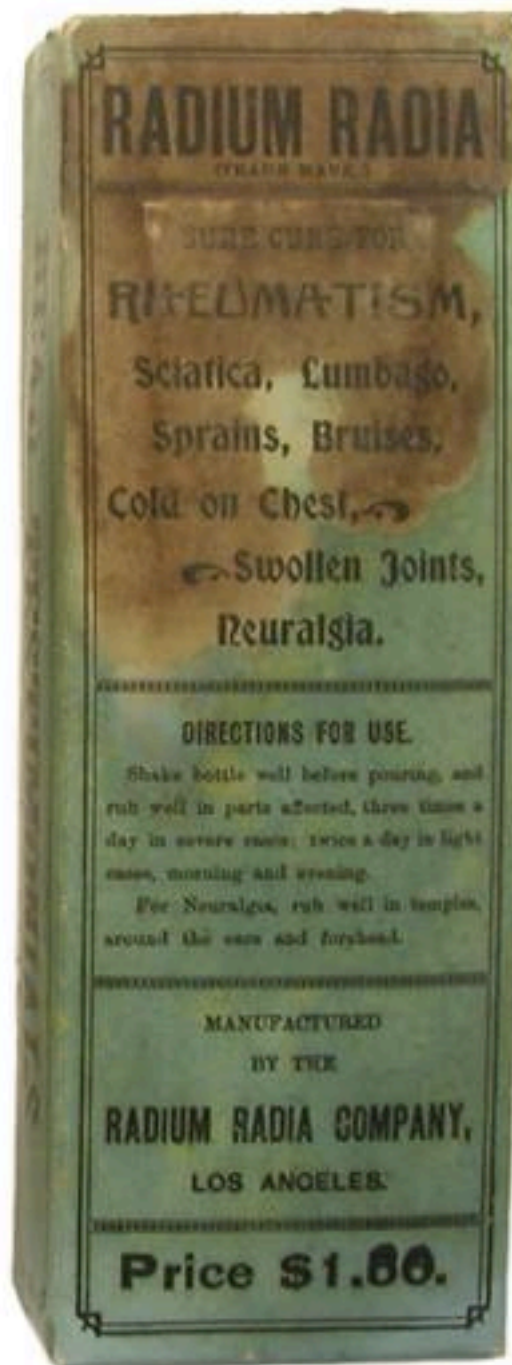
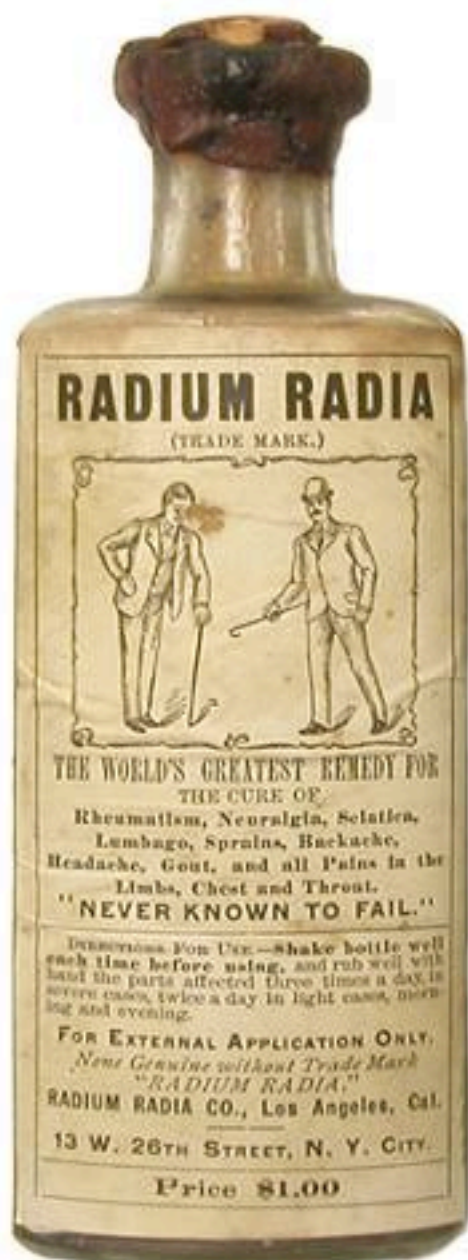
In darkest room on darkest night, the Gilbert Radium Clock keeps time in sight. A fine all-time alarm clock with a cheerful face.

Made for real service, it wakes you promptly with intermittent alarm. A real timepiece. Ask for it anywhere.

WILLIAM L. GILBERT CLOCK CO.
Makers of Gold Clocks for over one hundred years
WINSTED, CONNECTICUT



A Radioatividade: 1898-1903



SELS DE RADIUM
POLONIUM -- ACTINIUM
 et autres substances radioactives
ARMET & LISLE
 USINES
 NOGENT-SUR-MARNE
 BUREAUX
 13, Rue Vignon, PARIS

PRIX DES SELS DE RADIUM
 DÉPOSÉS DE RADIUM-POLONIUM AUX DÉCLARÉS RÉVÉLÉS

SELS DE RADIUM	PRIX	PRIX EN FRANCS
100 grammes	100	100
50 grammes	50	50
25 grammes	25	25
10 grammes	10	10
5 grammes	5	5
2 grammes	2	2
1 gramme	1	1

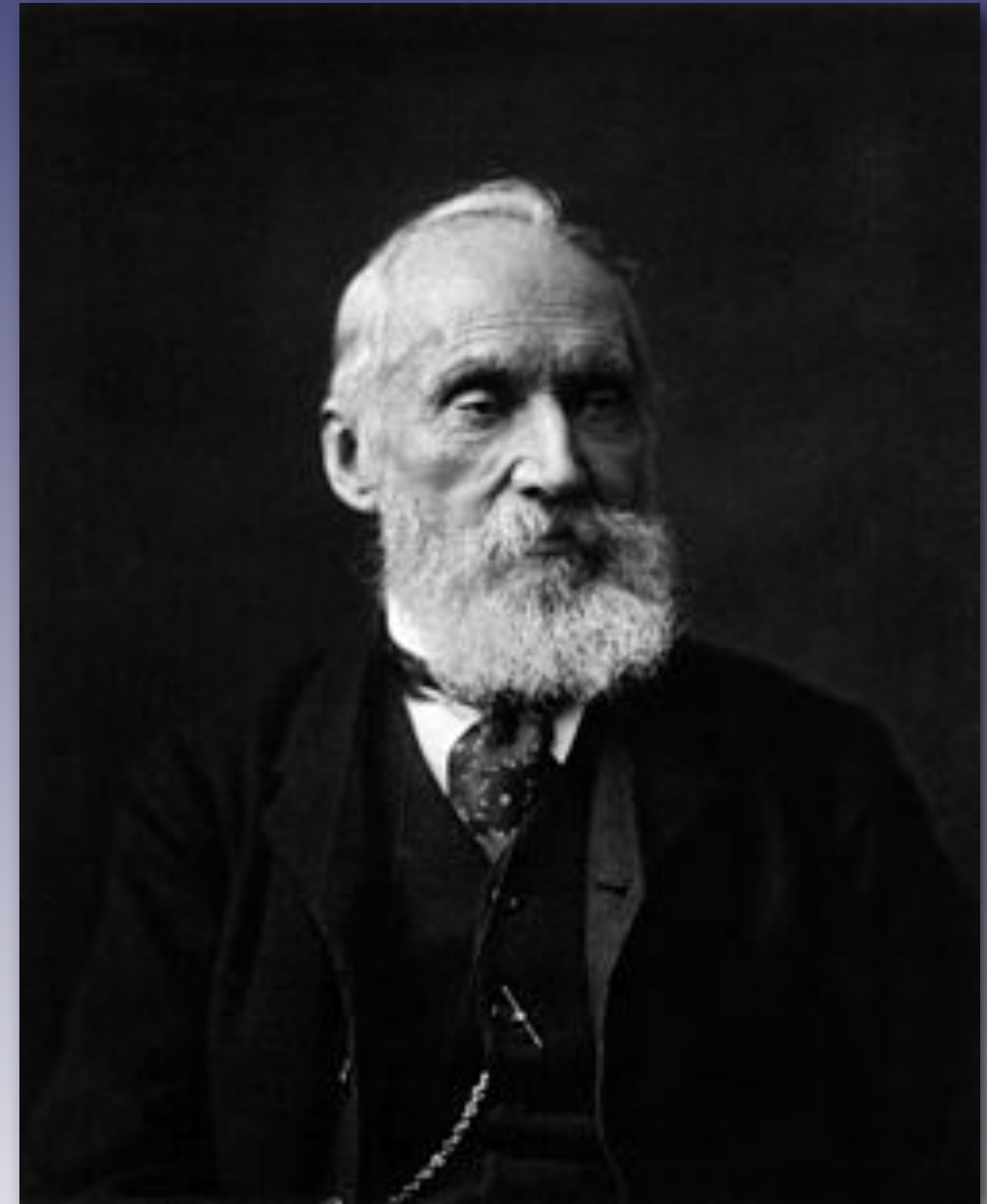
Les sels de radium sont des substances radioactives qui émettent des rayons gamma, alpha et bêta. Ils sont utilisés pour le traitement des tumeurs et des maladies de la peau. Les sels de radium sont également utilisés pour la production d'énergie nucléaire.

A Radioatividade: 1898-1903



(O Fim da Física)...

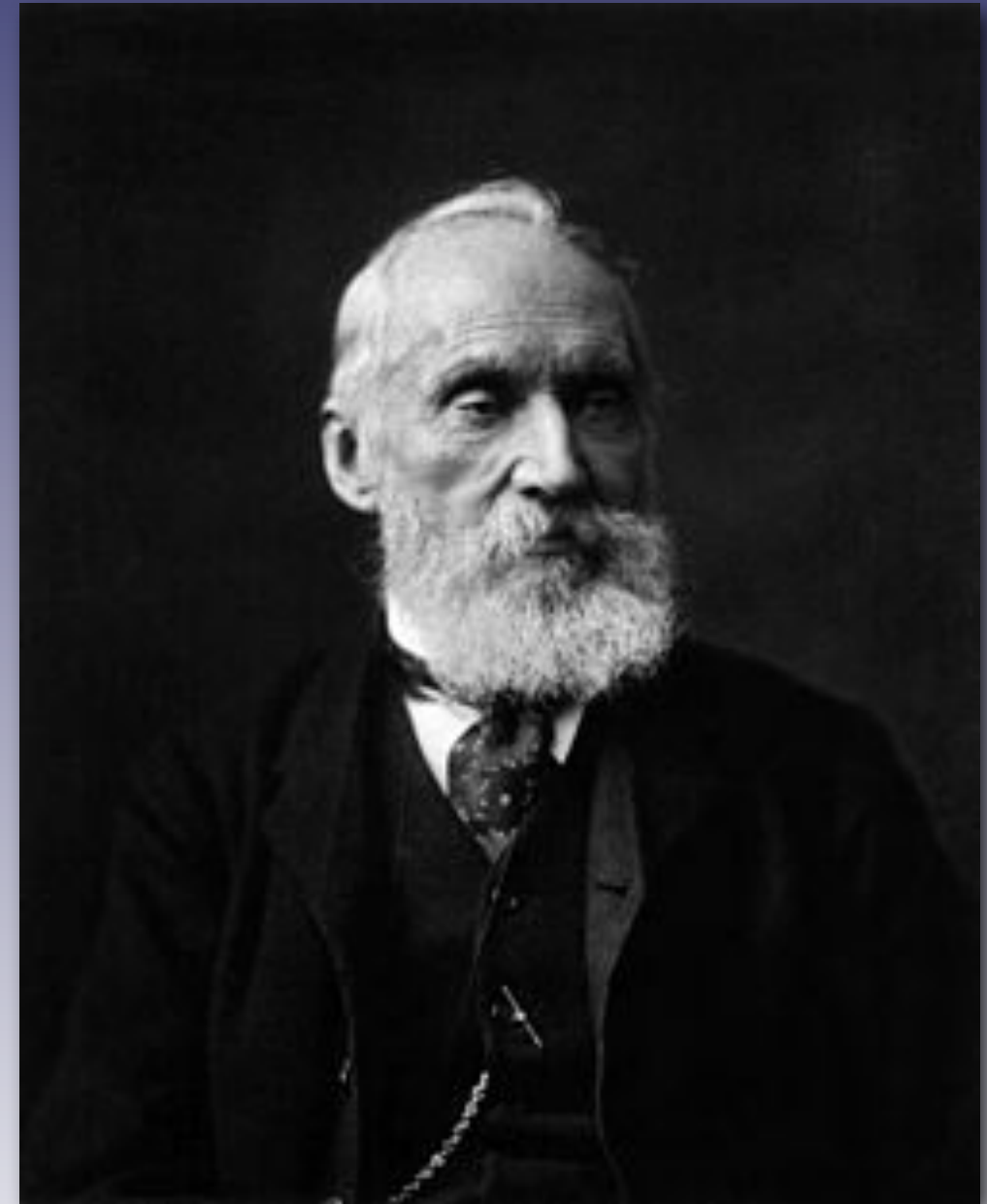
- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.



(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.

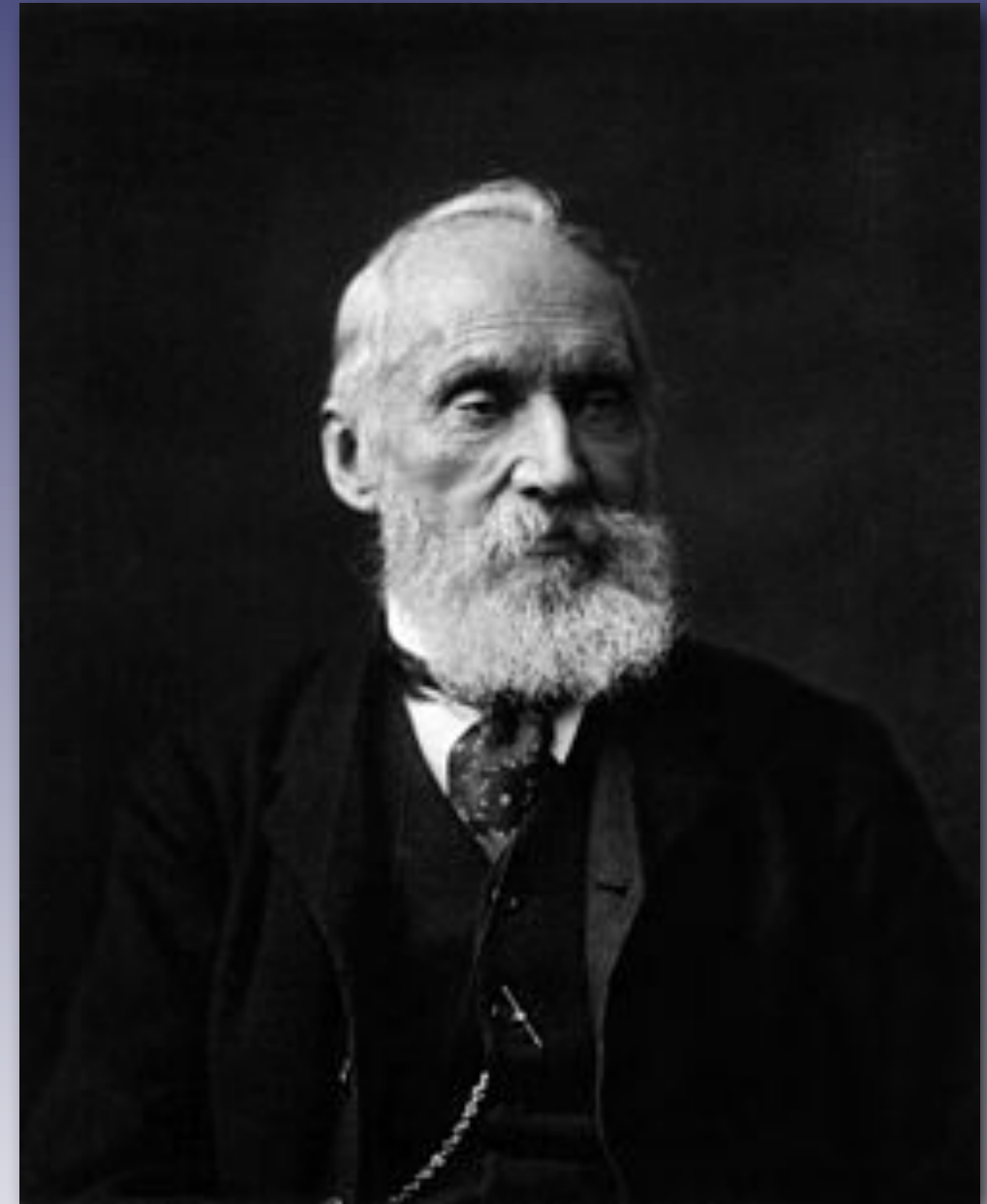
Experimento de
Michelson e Morley



(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.

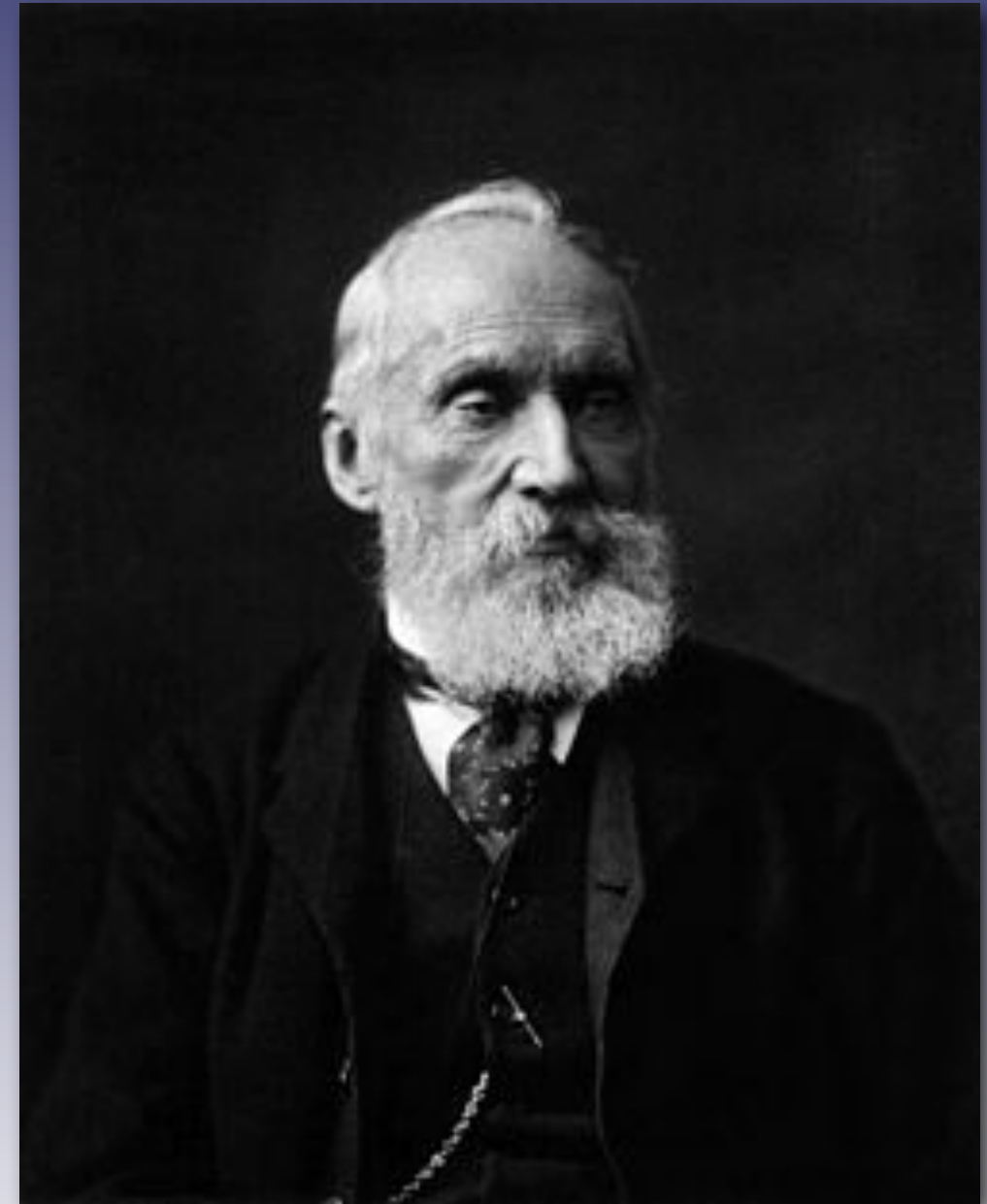
Experimento de
Michelson e Morley →



(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.

Experimento de Michelson e Morley → Teoria da Relatividade

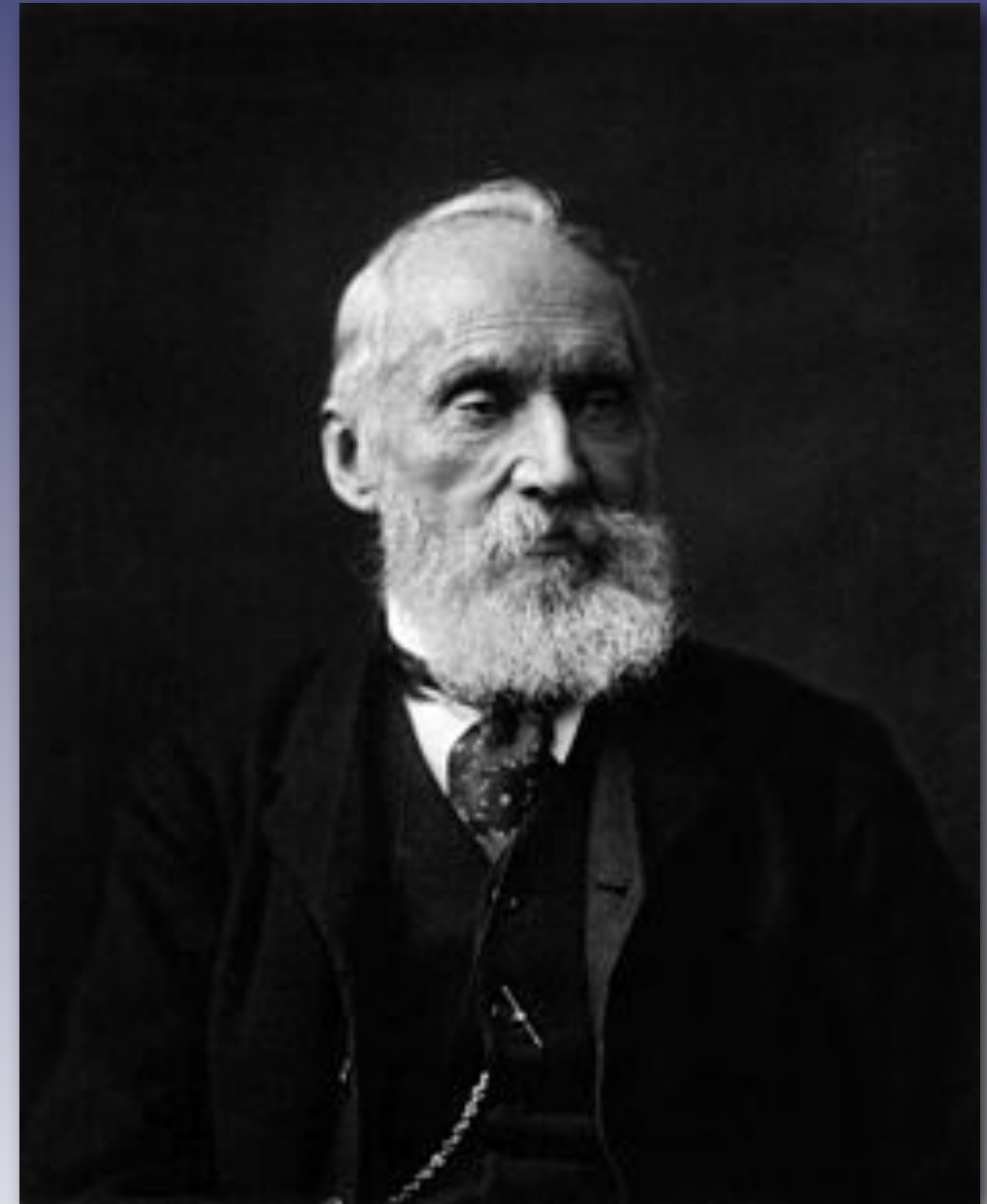


(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.

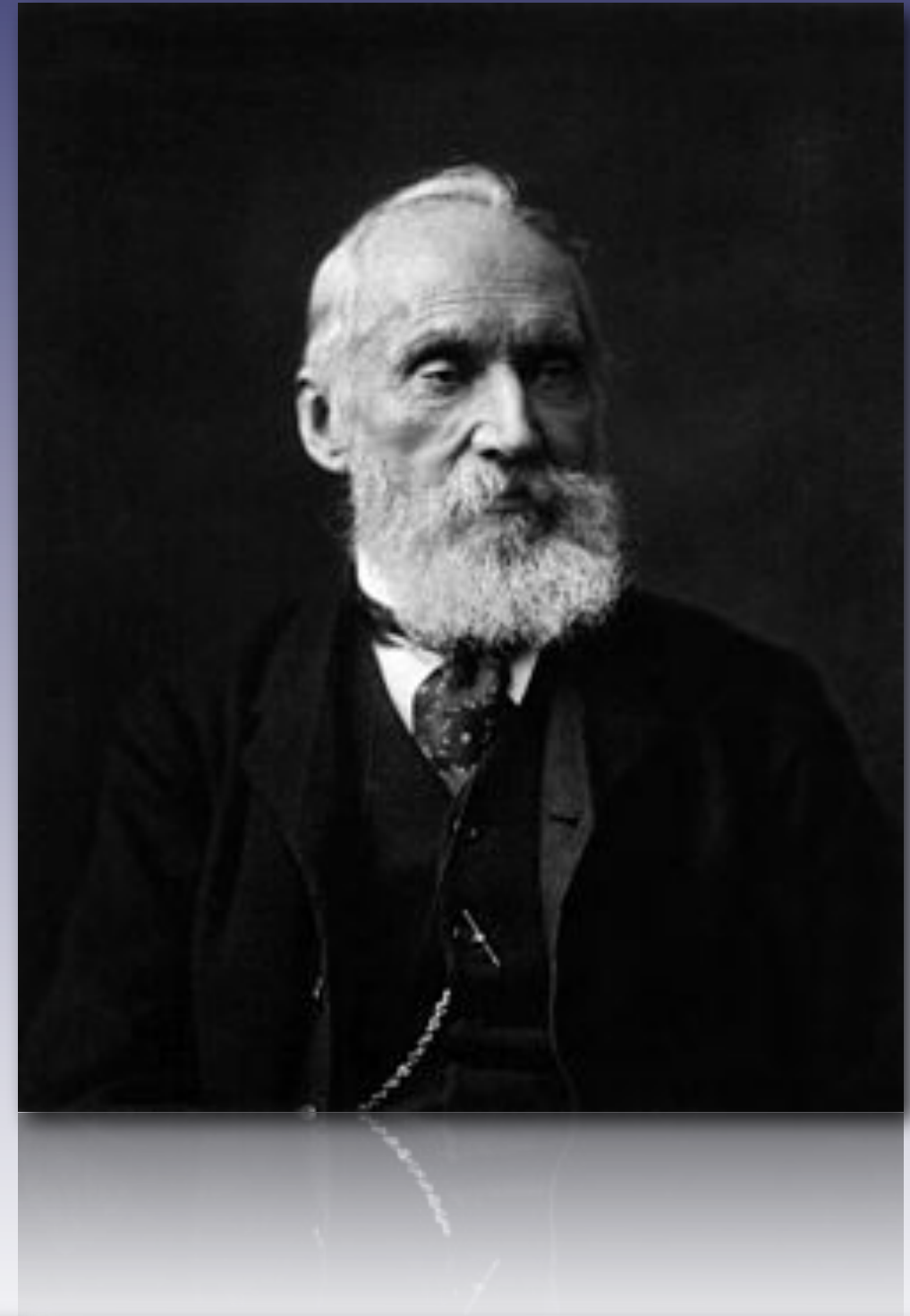
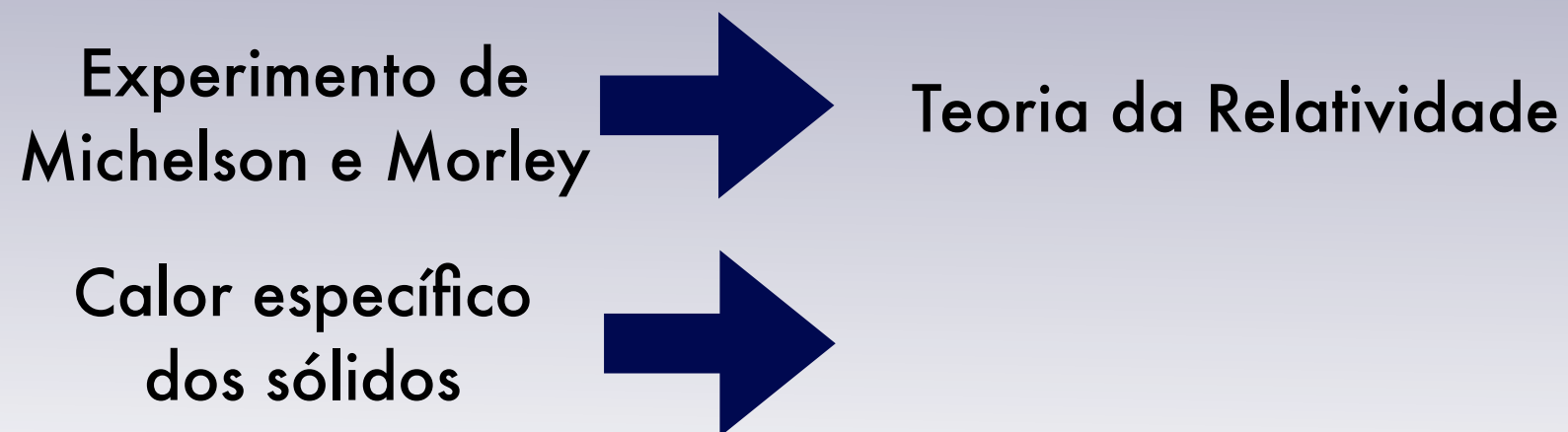
Experimento de Michelson e Morley → Teoria da Relatividade

Calor específico dos sólidos



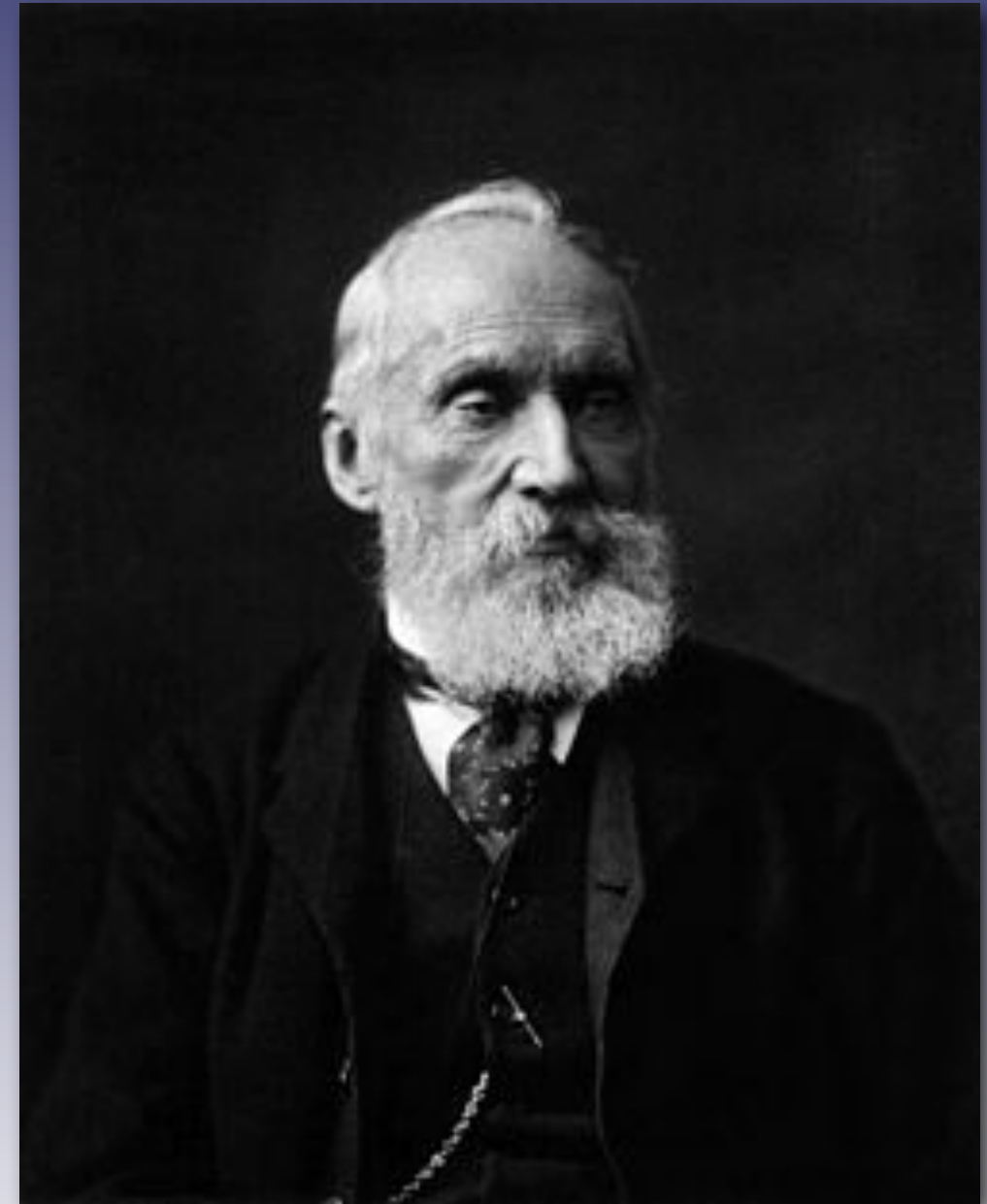
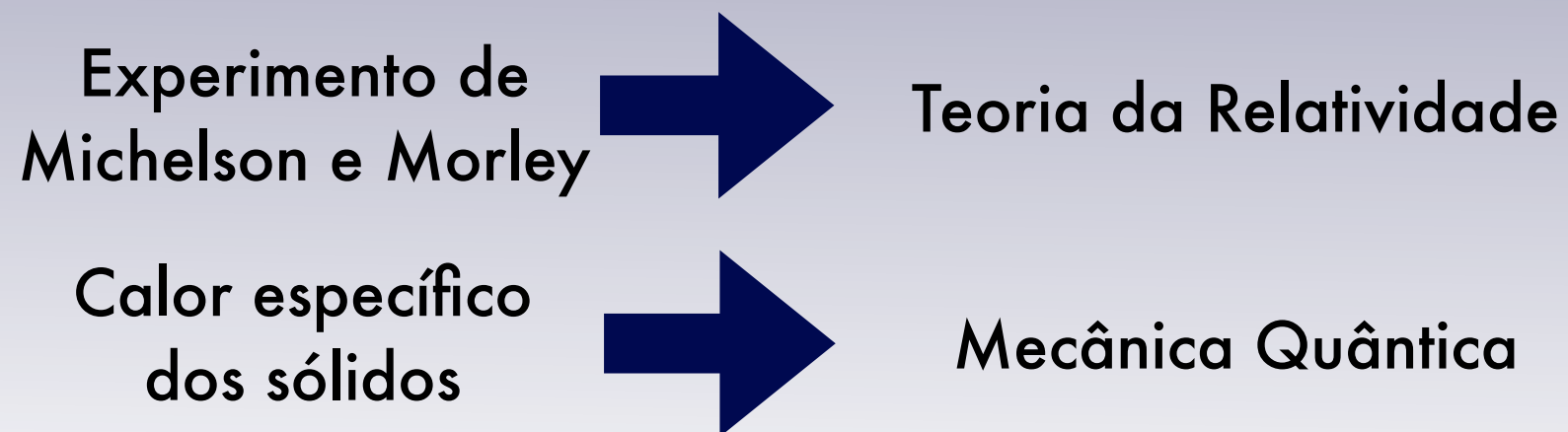
(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.



(O Fim da Física)...

- Em 1900 alguns acreditavam que a Física estava praticamente completa, exceto por alguns poucos problemas.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física pois restavam apenas alguns “detalhes” a serem compreendidos, e algumas medidas a serem refinadas.
- Estes detalhes eram o experimento de Michelson e Morley (existência do éter) e a dificuldade em se explicar o calor específico dos sólidos.



Planck e a Quantização

- Gustav Kirchhoff, Alemanha, 1858: de que forma a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro (absorção máxima) depende da frequência da radiação e da temperatura do corpo?
- Max Planck, Alemanha, 1900: postulou que a luz era emitida ou absorvida em quanta, ou seja em “pacotes” de energia e isto era uma explicação satisfatória para os espectros atômicos observados na época.
- A quantização pode ser expressa pela relação $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$$E = hf$$

Planck e a Quantização

- Gustav Kirchhoff, Alemanha, 1858: de que forma a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro (absorção máxima) depende da frequência da radiação e da temperatura do corpo?
- Max Planck, Alemanha, 1900: postulou que a luz era emitida ou absorvida em quanta, ou seja em “pacotes” de energia e isto era uma explicação satisfatória para os espectros atômicos observados na época.
- A quantização pode ser expressa pela relação $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$$E = hf$$

constante de Planck

Planck e a Quantização

- Gustav Kirchhoff, Alemanha, 1858: de que forma a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro (absorção máxima) depende da frequência da radiação e da temperatura do corpo?
- Max Planck, Alemanha, 1900: postulou que a luz era emitida ou absorvida em quanta, ou seja em “pacotes” de energia e isto era uma explicação satisfatória para os espectros atômicos observados na época.
- A quantização pode ser expressa pela relação $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

The diagram illustrates the equation $E = hf$. A horizontal arrow points left from the equation to the text "frequência da luz". Another horizontal arrow points right from the equation to the text "constante de Planck". A vertical line descends from the equation, with a horizontal branch pointing right to "constante de Planck" and another horizontal branch pointing left to "frequência da luz". A third vertical line descends from the "constante de Planck" text, with a horizontal branch pointing right to the value $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ and another horizontal branch pointing left to the "constante de Planck" text.

$$E = hf$$

frequência da luz

constante de Planck

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Planck e a Quantização

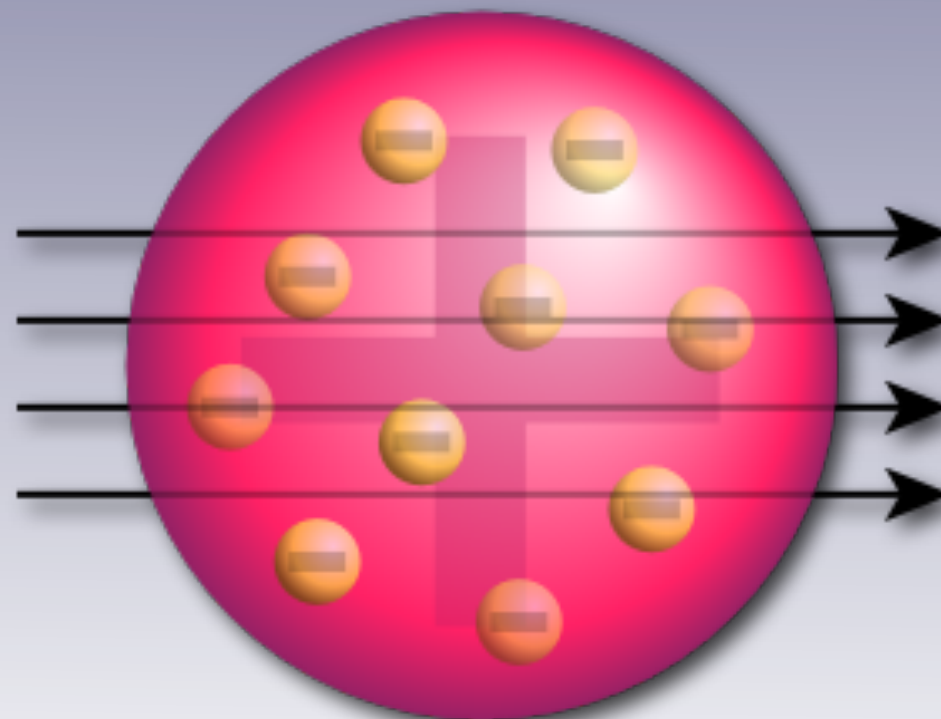
- Gustav Kirchhoff, Alemanha, 1858: de que forma a intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro (absorção máxima) depende da frequência da radiação e da temperatura do corpo?
- Max Planck, Alemanha, 1900: postulou que a luz era emitida ou absorvida em quanta, ou seja em “pacotes” de energia e isto era uma explicação satisfatória para os espectros atômicos observados na época.
- A quantização pode ser expressa pela relação $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Diagram illustrating the equation $E = hf$ and its components:

- E is labeled as **energia** (energy).
- f is labeled as **frequência da luz** (frequency of light).
- h is labeled as **constante de Planck** (Planck constant).

Inglaterra, 1909...

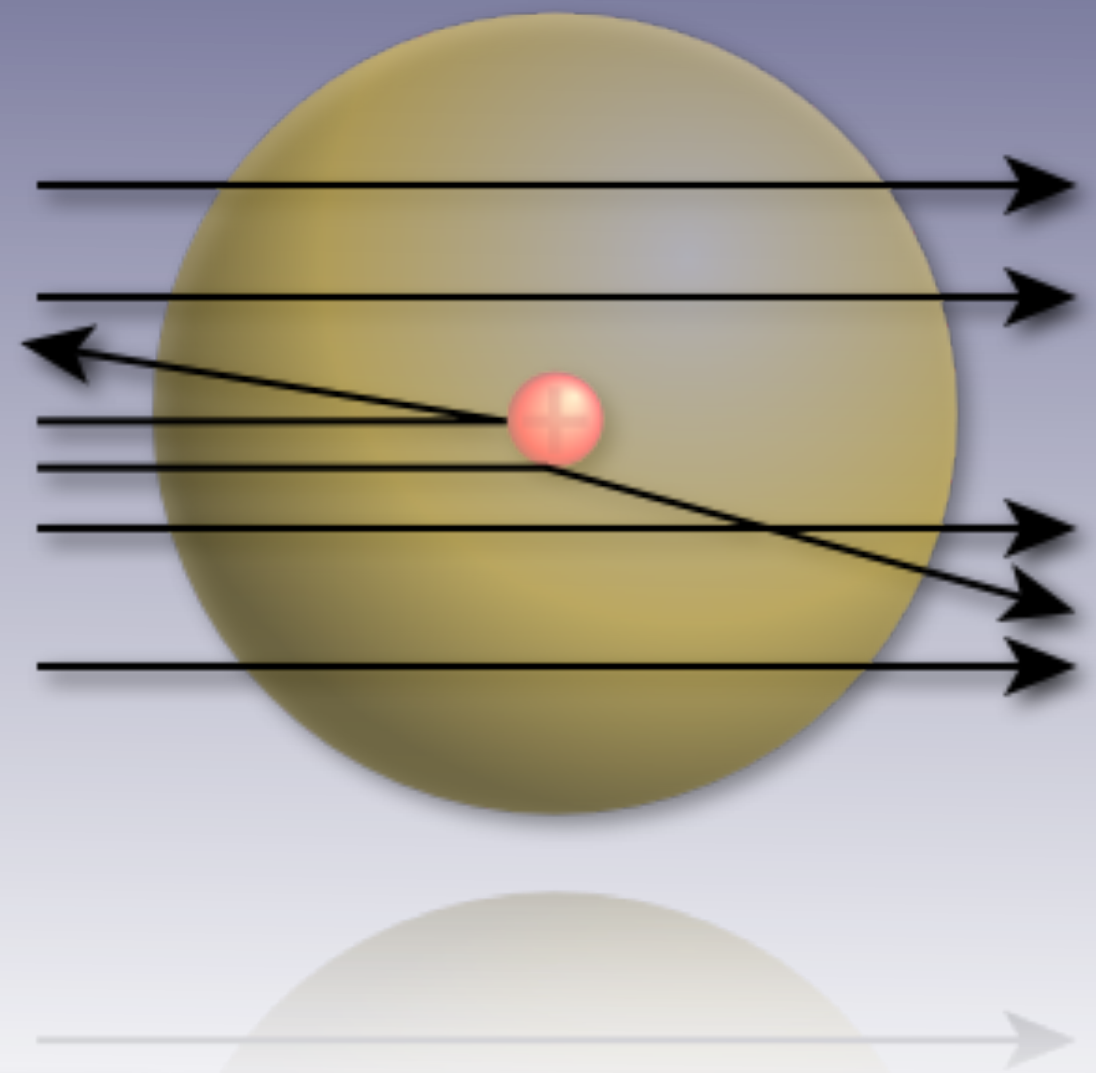
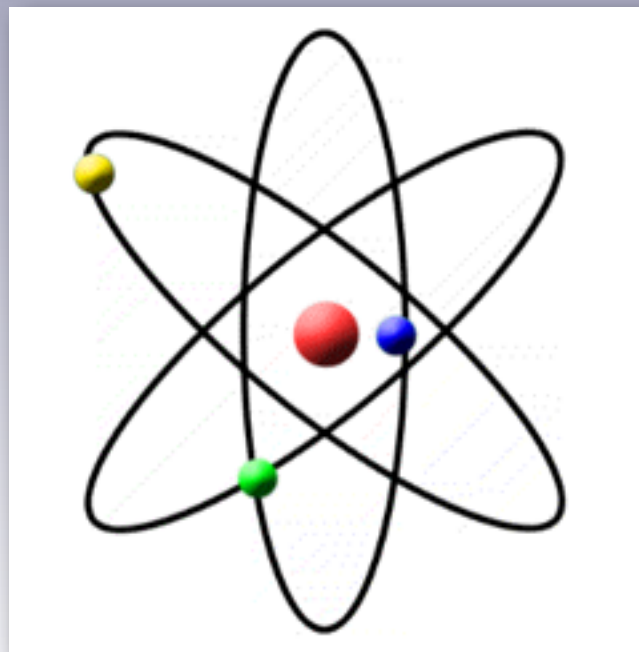
- H. Geiger, E. Marsden, Ernest Rutherford, 1909.
- Teste do modelo de Thomson.
- Rutherford bombardeou uma fina folha de ouro com partículas alfa (composta por dois prótons e dois nêutrons).
- Se o modelo de Thomson estivesse certo as partículas alfa (positivas) seriam pouco defletidas pelas cargas positivas dos átomos, uma vez que as cargas no átomo estariam homogeneamente distribuídas.



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rutherford_gold_foil_experiment_results.svg

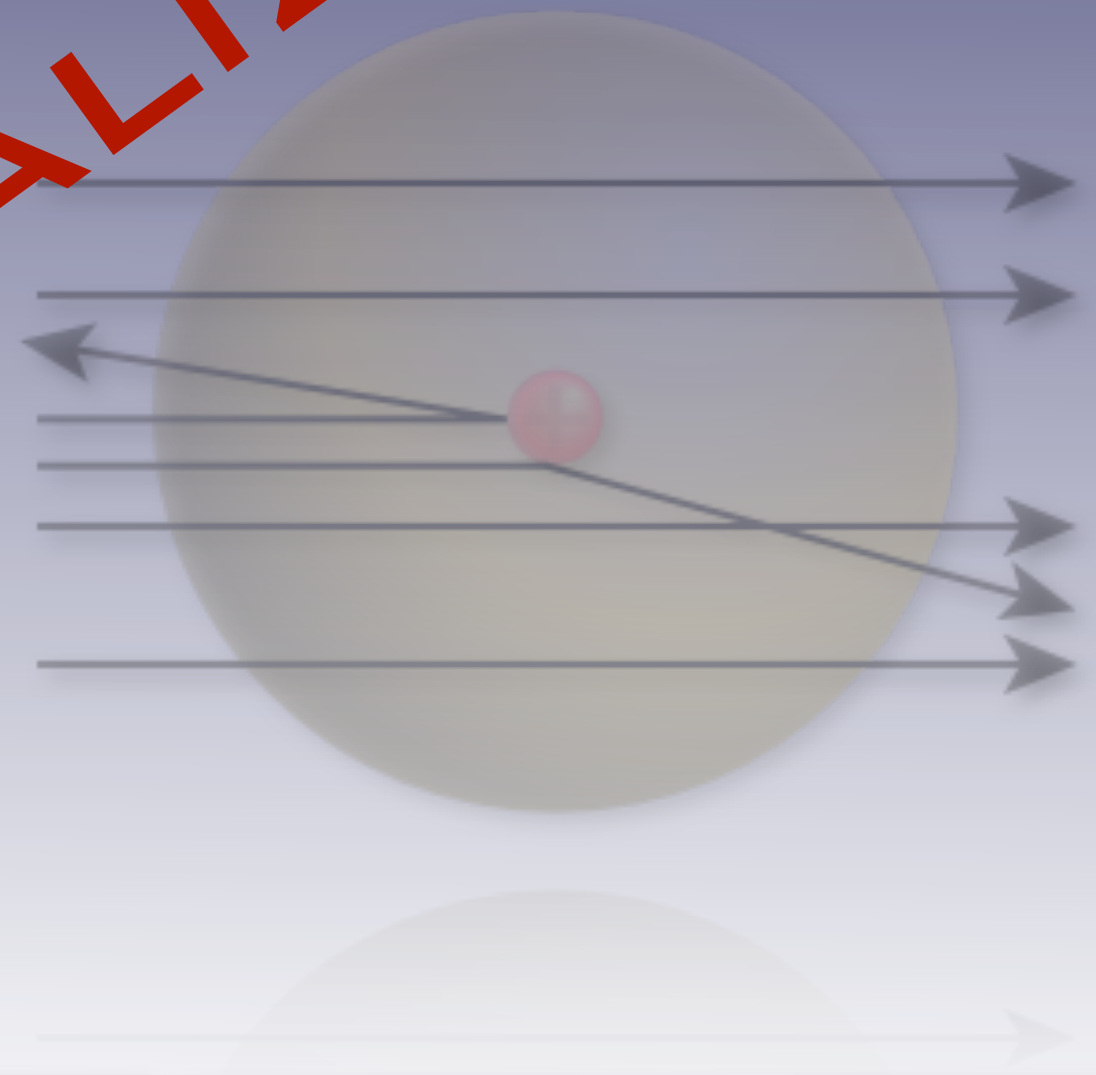
O Modelo Atômico de Rutherford

- O resultado experimental não estava de acordo com as previsões teóricas do modelo de Thomson.
- A maior parte das partículas era pouco defletida.
- Algumas partículas sofriam grandes desvios e eram até mesmo refletidas.
- Conclusão: a maior parte do átomo é vazia e há uma região mais densa com carga positiva (núcleo) circundada por uma região de carga negativa (eletrosfera).



O Modelo Atômico de Rutherford

- O resultado experimental não estava de acordo com as previsões teóricas do modelo de Thomson.
- A maior parte das partículas era pouco defletida.
- Algumas partículas sofriam grandes desvios e eram até mesmo refletidas.
- Conclusão: a maior parte do átomo é vazia e há uma região mais densa com carga positiva (núcleo) circundada por uma região de carga negativa (eletrosfera).



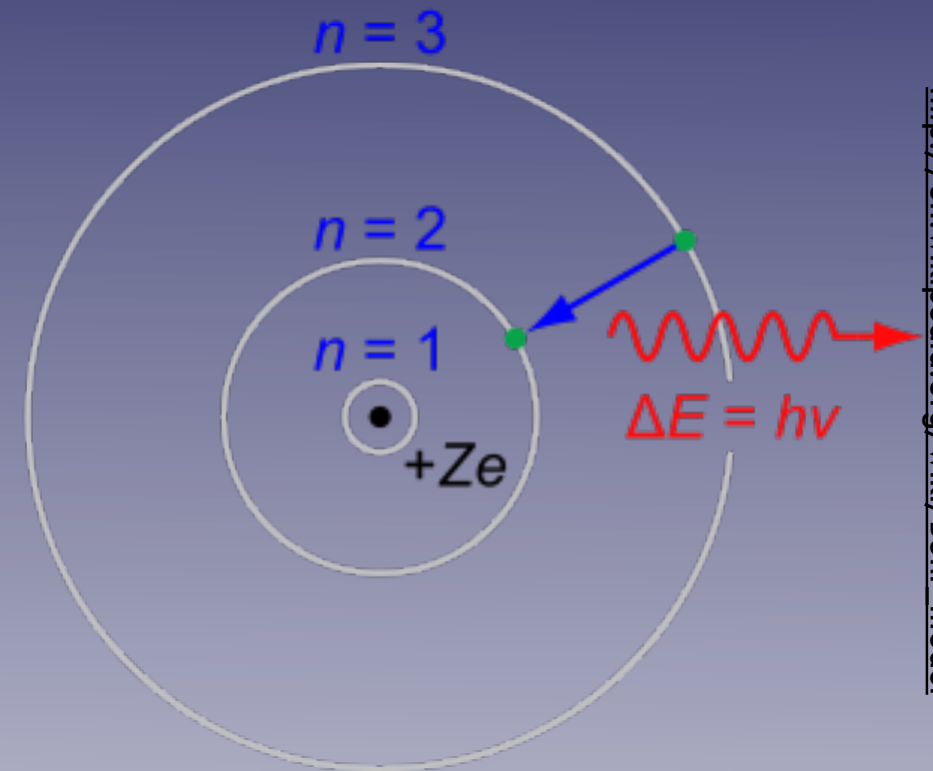
O Modelo Atômico de Bohr

Modelo atômico de Rutherford

Se os elétrons estão em uma órbita circular ao redor do núcleo, por que eles não caem?

- Para solucionar o problema acima Bohr propôs que as órbitas seriam "quantizadas".
- Na verdade, a proposta real de Bohr foi a quantização do momento angular orbital (o famoso número atômico l), o que implica na existência de níveis de energia.
- Os elétrons ocupam níveis de energia específicos, e a diferença de energia entre os níveis está associada à ideia apresentada por Planck em 1900.

PROBLEMAS: só explica o átomo de hidrogênio e as linhas espectrais de alguns poucos átomos leves. Falha ao explicar elementos pesados.



http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model

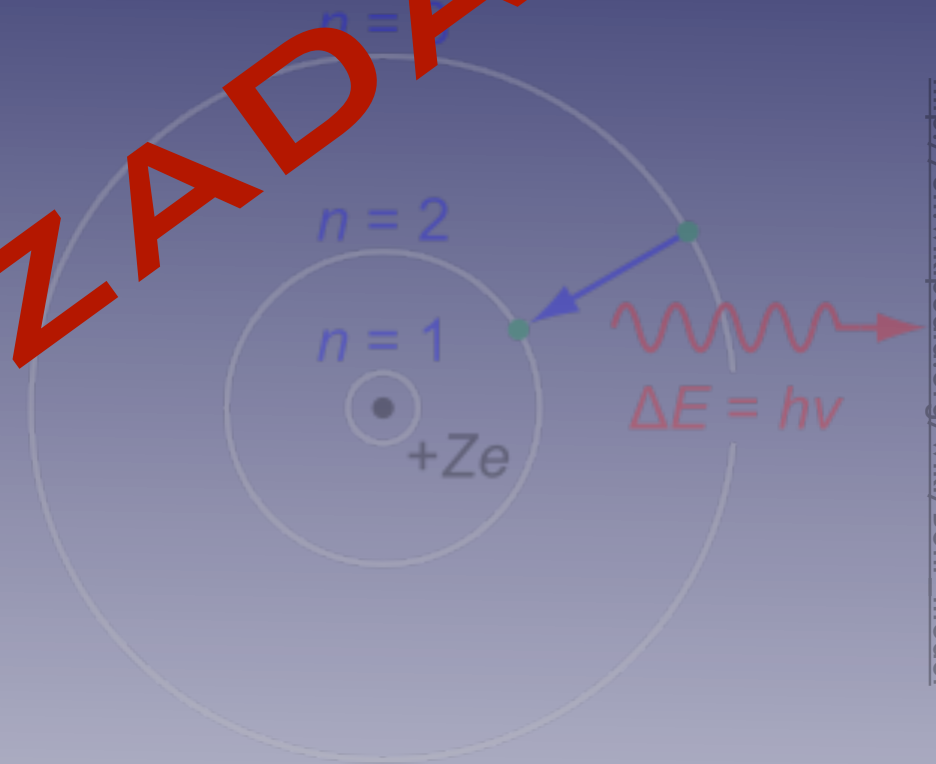
O Modelo Atômico de Bohr

Modelo atômico de Rutherford

Se os elétrons estão em uma órbita circular ao redor do núcleo, por que eles não caem?

- Para solucionar o problema acima Bohr propôs que as órbitas seriam "quantizadas".
- Na verdade, a proposta real de Bohr foi a quantização do momento angular orbital (o famoso número atômico l), o que implica na existência de níveis de energia.
- Os elétrons ocupam níveis de energia específicos, e a diferença de energia entre os níveis está associada à ideia apresentada por Planck em 1900.

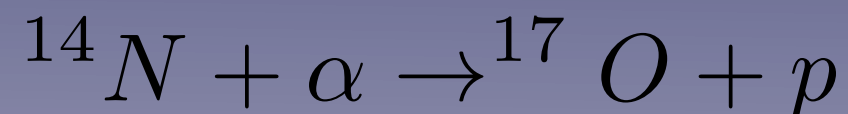
PROBLEMAS: só explica o átomo de hidrogênio e as linhas espectrais de alguns poucos átomos leves. Falha ao explicar elementos pesados.



http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model

Além do Núcleo: Prótons e Nêutrons

- Em experimentos realizados em 1917 (publicados em 1919) Rutherford concluiu que o núcleo de hidrogênio está presente em todos os outros núcleos conhecidos $\Rightarrow$ próton.

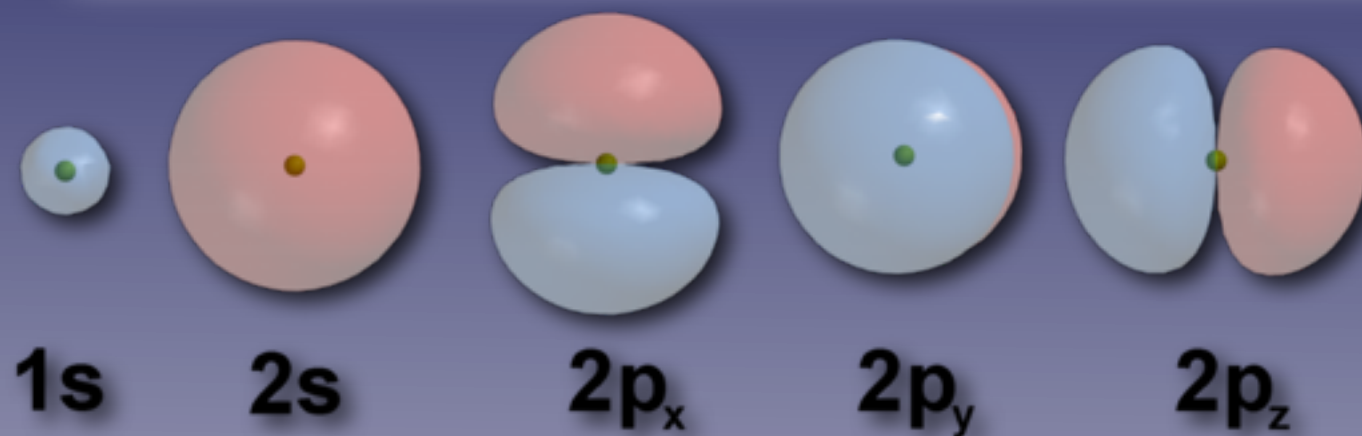


- Rutherford cunhou a palavra “próton”
- 1920: Rutherford percebe que para que as massas atômicas dos elementos estejam coerentes com os números atômicos, devem haver partículas neutras no núcleo.
- 1932: James Chadwick realiza uma série de experimentos que demonstram a existência de uma partícula com massa próxima à do próton, eletricamente neutra.
- Chadwick recebeu o prêmio Nobel de 1935 pela descoberta do nêutron.

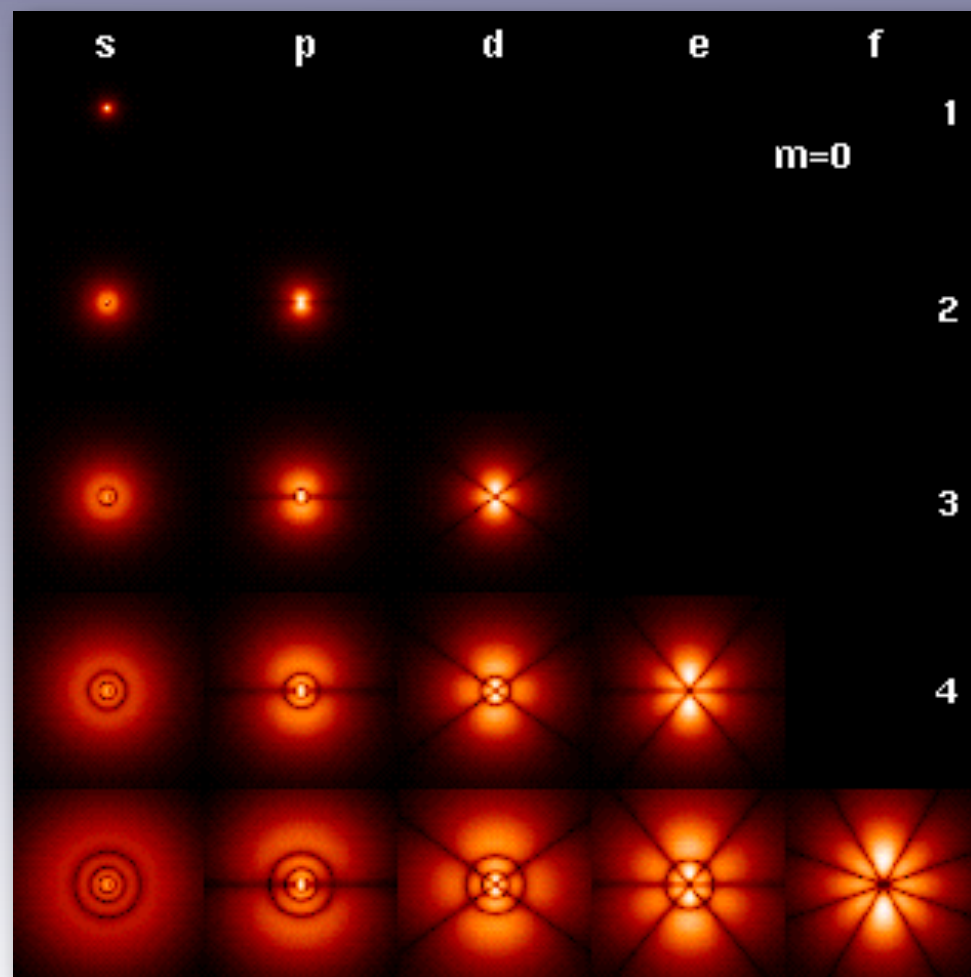
Modelo Atômico Quântico

- 1924: Louis de Broglie propõe que todas as partículas subatômicas podem ser descritas também em termos de onda.
- 1926: Erwin Schrödinger introduziu a noção de função de onda para descrever a probabilidade de se encontrar uma partícula em uma dada região.
- Este modelo conseguia explicar os espectros de diversos elementos que não podiam ser explicados pelo modelo de Bohr.
- Max Born propôs que a função de onda não descreve exatamente um elétron, e sim todos os seus estados possíveis.
- Assim, a função de onda pode ser utilizada para calcular a probabilidade de se encontrar um elétron em uma dada posição em torno do núcleo.
- Dualidade onda-partícula: um elétron (ou uma partícula qualquer) é simultaneamente uma onda e uma partícula. Tem massa como uma partícula e pode sofrer interferência ou difração como uma onda.
- A dualidade onda-partícula levou Heisenberg a propor seu famoso Princípio da Incerteza que prevê que é impossível saber precisamente qual a posição e o momento de uma dada partícula.

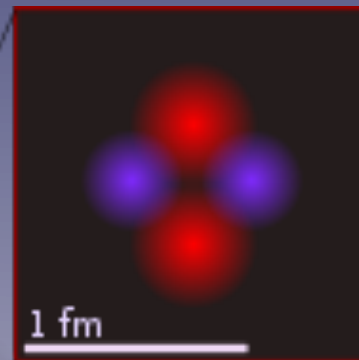
O Átomo Hoje



Orbitais
atômicos

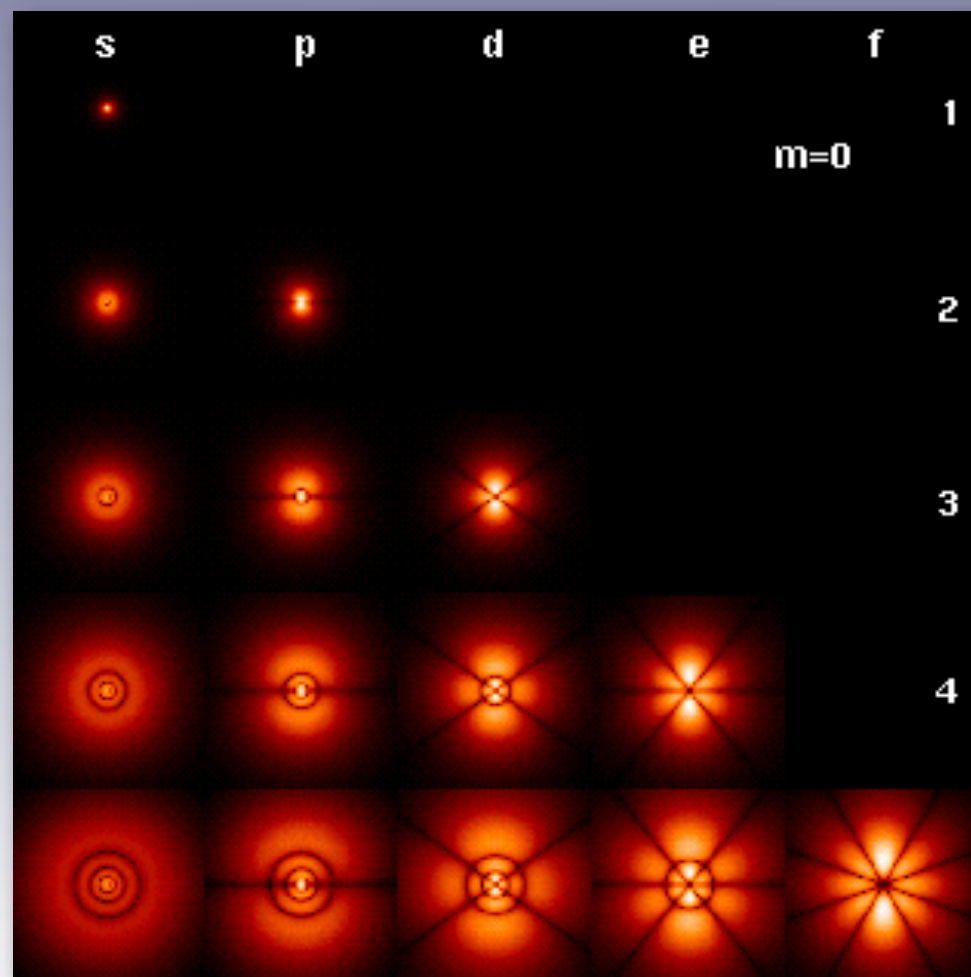
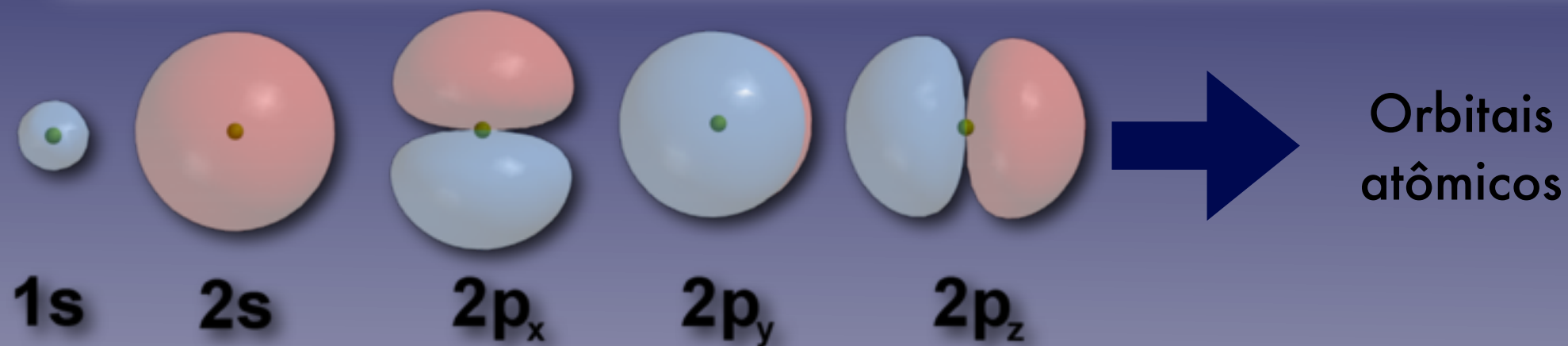


1 Å = 100,000 fm



“Nuvens” de
probabilidade

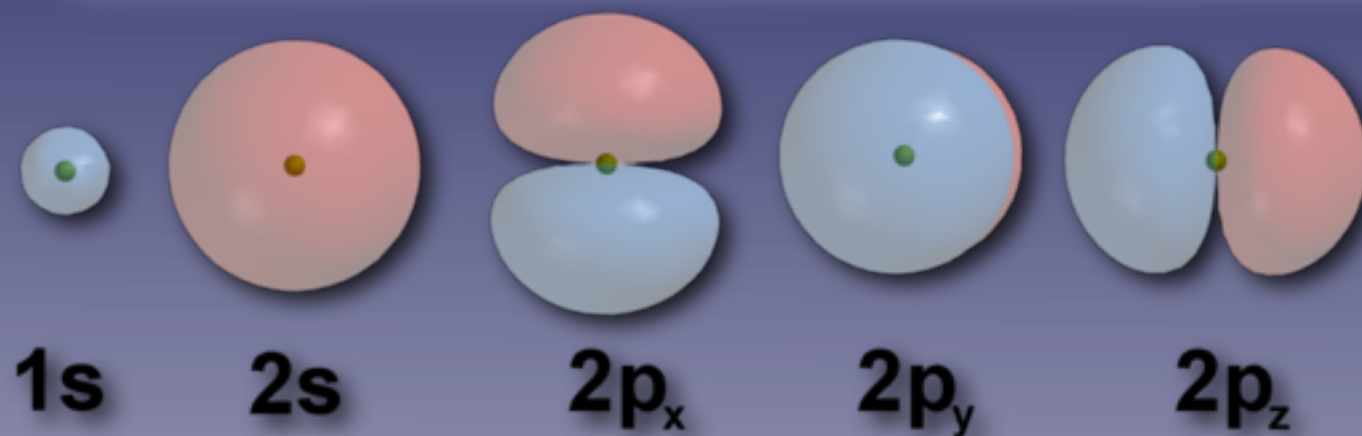
O Átomo Hoje



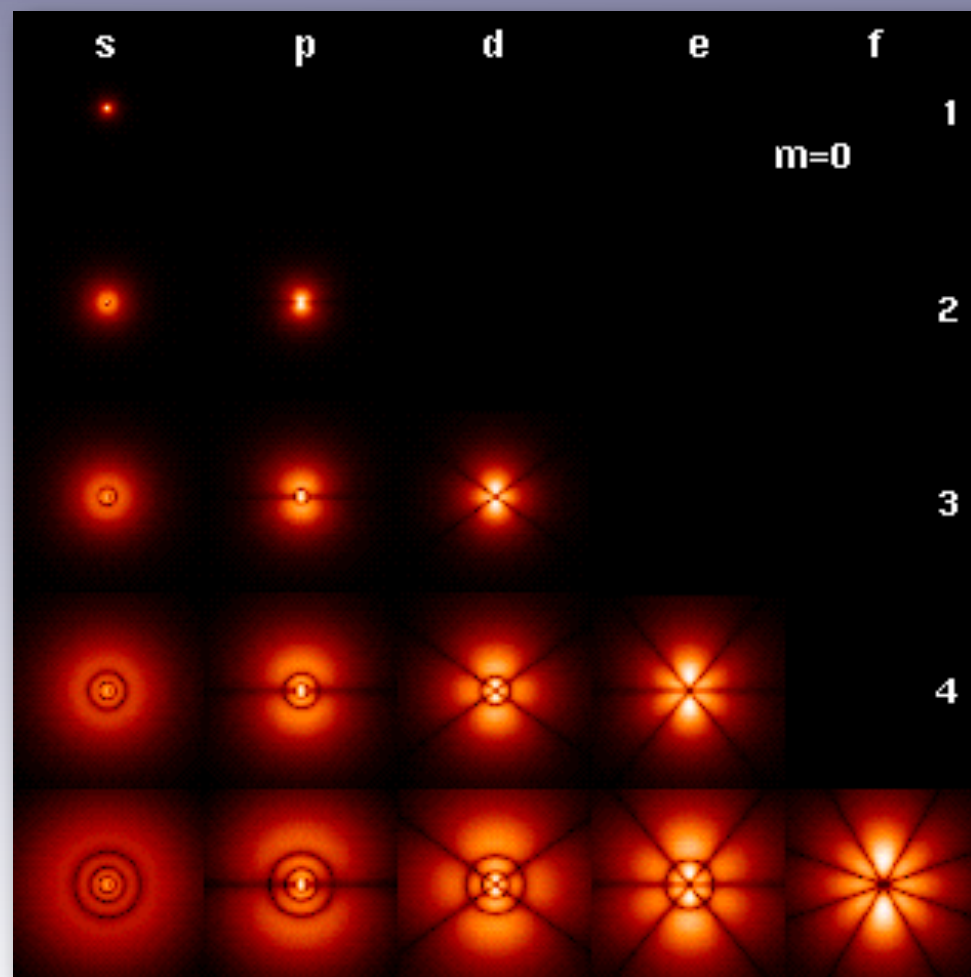
1 Å = 100,000 fm

“Nuvens” de probabilidade

O Átomo Hoje



Orbitais
atômicos

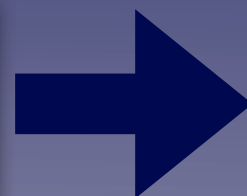
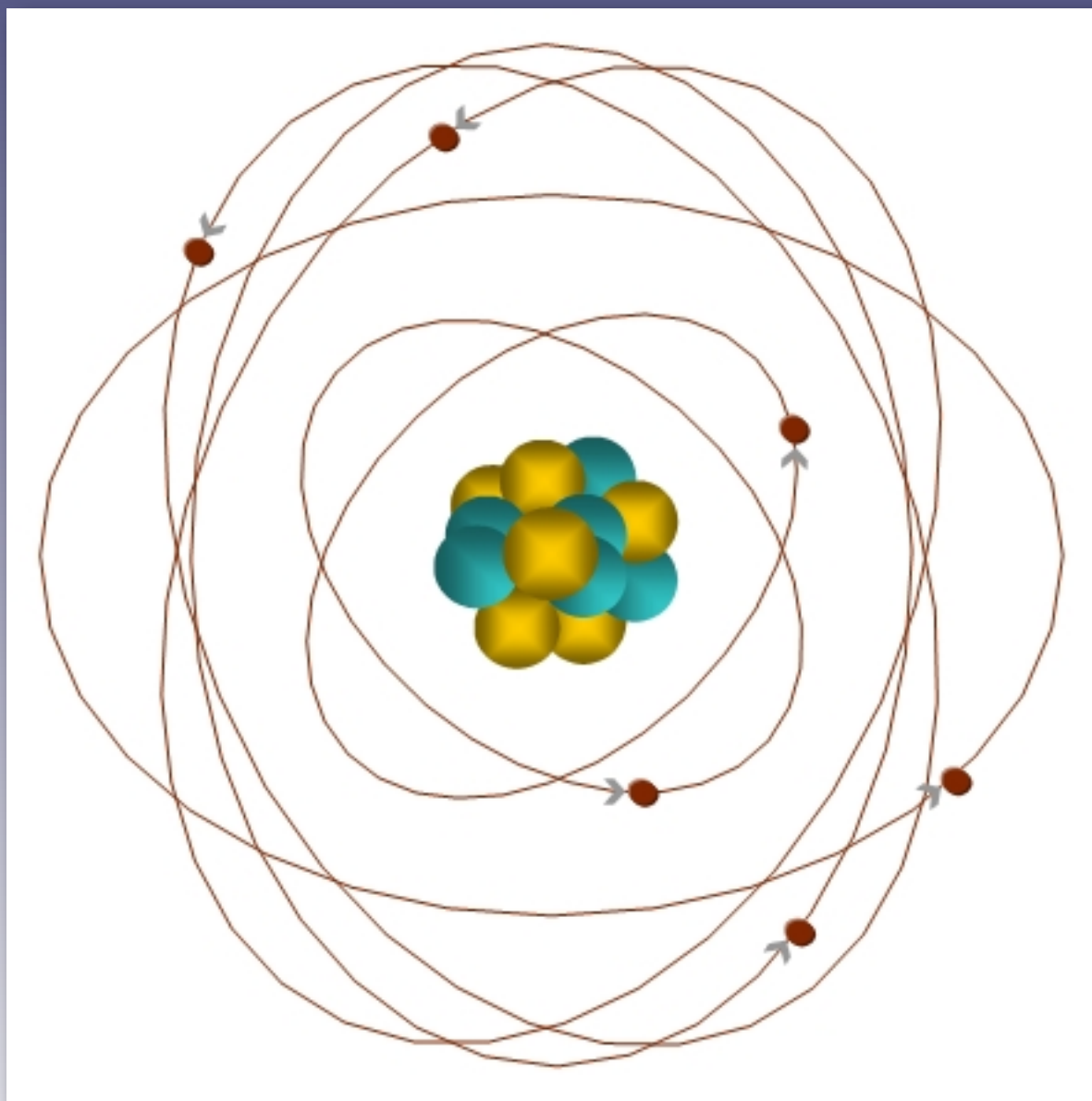


1 Å = 100,000 fm

1 fm

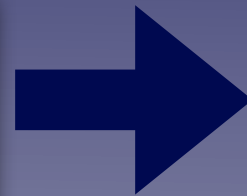
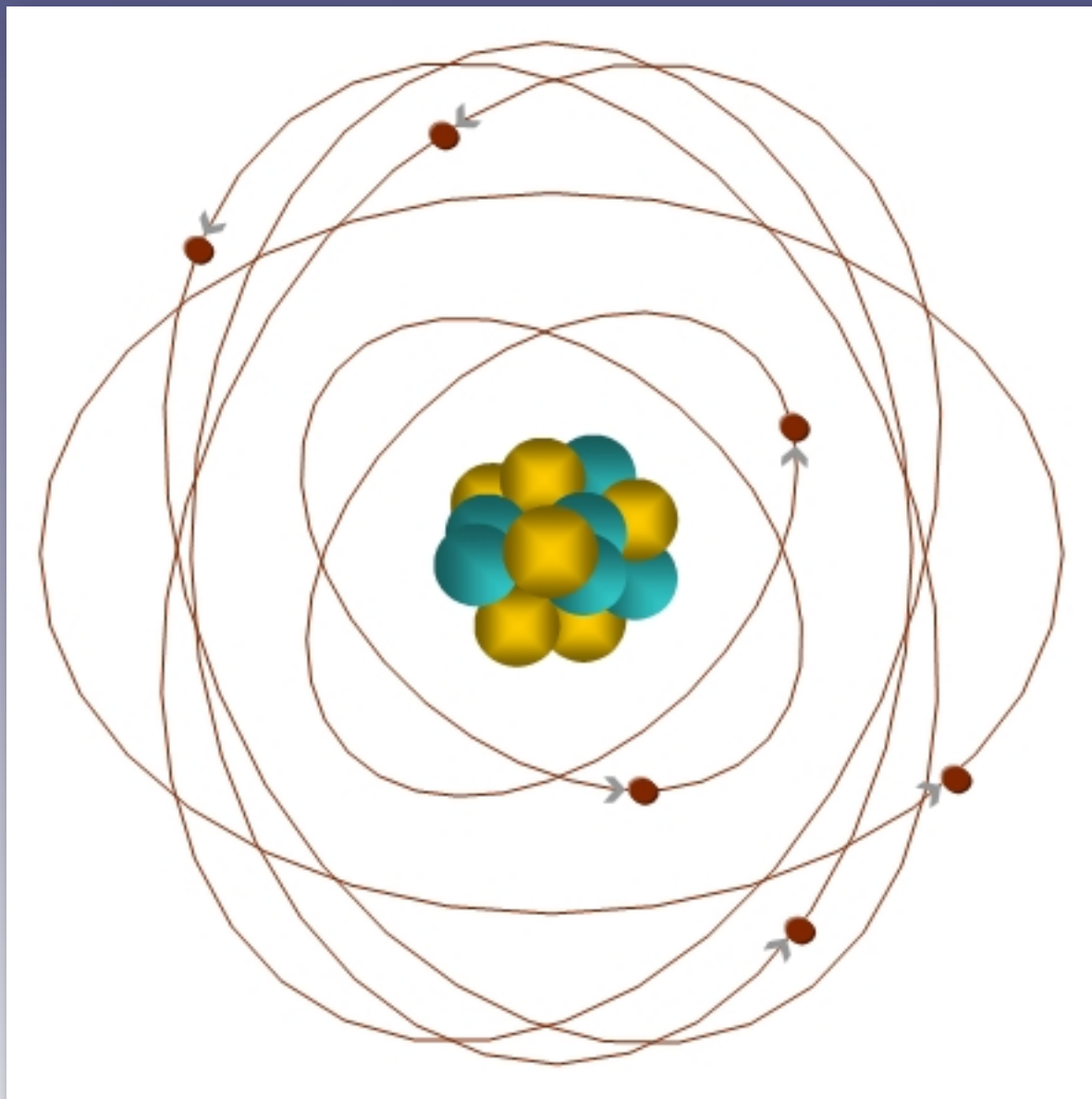
“Nuvens” de
probabilidade

Pergunta



A mais tradicional
representação do átomo

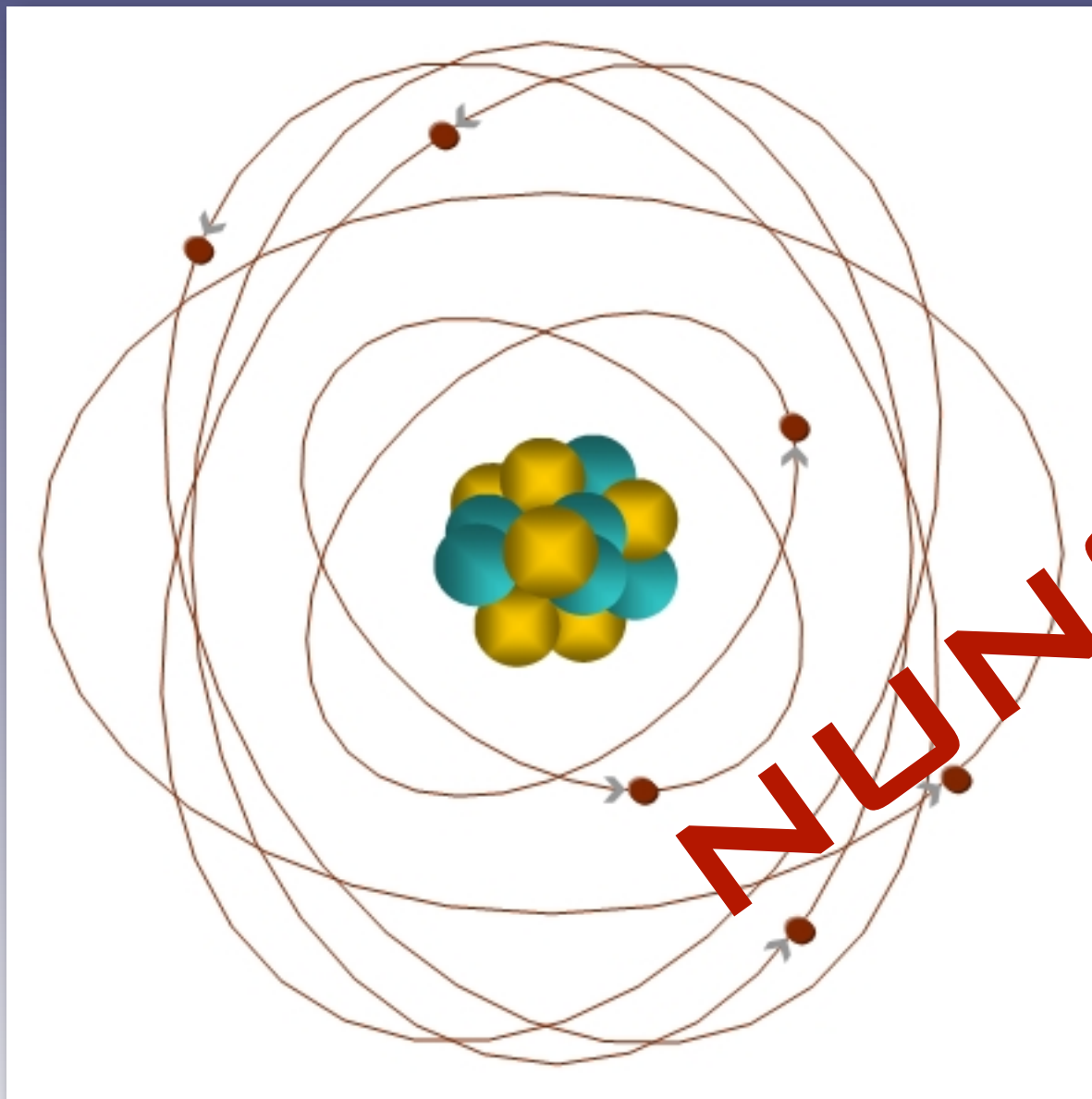
Pergunta



A mais tradicional
representação do átomo

Em que momento histórico o modelo
descrito ao lado era o vigente?

Pergunta



A mais tradicional
representação do átomo

Em que momento histórico o modelo
descrito ao lado era o vigente?

Assuma que bolinhas vermelhas pequenas
são elétrons, bolinhas amarelas são
nêutrons e bolinhas azuis são prótons.

Pergunta

A mais tradicional
representação do átomo

Em que momento histórico o modelo
descrito ao lado era o vigente?

NUNCA!!!

Assuma que bolinhas vermelhas pequenas
são elétrons, bolinhas amarelas são
nêutrons e bolinhas azuis são prótons.