

15 - Algumas considerações históricas

Mecânica Quântica

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

1/60

Teorias Clássicas da Estrutura da Matéria

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

2/60

Os Pré-Socráticos

- Busca de uma unidade, um princípio
 - Tales de Mileto: água
 - Anaximandro de Mileto: ápeiron
 - Anaximandro: ar
 - Xenófonos de Cólofon: terra
 - Heráclito de Éfeso: fogo

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

3/60

Os Pré-Socráticos

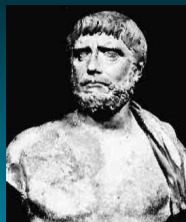
- matéria era contínua, não aceitavam o 'vazio' e, portanto, não podia haver 'átomos'
- descrição era sensorialista, baseada em propriedades (macroscópicas)

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

4/60

Tales de Mileto (624-546 a.C.)



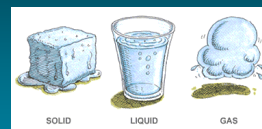
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

5/60

Tales

- para Tales, o elemento básico, a partir do qual se tinha formado toda a matéria do Universo, era a **água**, possivelmente
 - porque se manifesta nos três estados da matéria e
 - porque a umidade é essencial à vida
- possível influência do Egito (rio Nilo)



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

6/60

Anaximandro (611-547 a.C.)



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

7/60

Anaximandro

- como a Natureza é cíclica, nem o fogo, nem a água, nem o ar e nem a terra podiam ser o princípio fundamental
- este deveria ser informe e conter os elementos antagonistas em forma potencial

⇒ *ápeiron*

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

8/60

“Os Atomistas”

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

9/60

“Atomistas”

- Introdução do atomismo
 - Anaxágoras de Clazômenas: *homeomerias*
 - Leucipo & Demócrito: ‘átomos’
 - Platão (Timeu): ‘átomos’ geométricos
- átomos ainda com propriedades
- substancialista
- realista (existência real, não modelos)

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

10/60

Demócrito (460-370 a.C.)



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

11/60

Demócrito de Abdera

- Desenvolveu a teoria do atomismo.
- Natureza composta por átomos, partículas individuais, eternas e imutáveis.
 - água: átomos arredondados e lisos
 - terra: átomos com arestas
 - sólidos: átomos com ganchos
 - óleo: átomos pequenos, penetrantes

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

12/60

Demócrito

- “Nada nasce do nada” e tudo se encadeia necessariamente em formulações atomistas.
- surgimento por composição de átomos,
- transformação por novos arranjos atômicos,
- destruição e morte por sua separação.

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

13/60

Platão (427-347 a.C.)



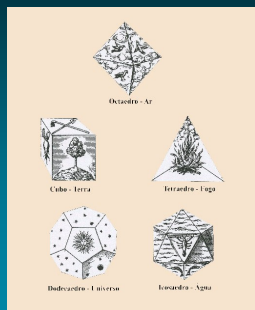
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

14/60

Platão

- atomismo geométrico
- fogo - tetraedro (4 faces)
- terra - cubo (6 faces)
- ar - octaedro (8 faces)
- água - icosaedro (20 faces)
- éter - dodecaedro (12 faces)



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

15/60

A Recuperação do atomismo

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

16/60

A Recuperação do atomismo

- átomo como modelo
 - Francis Bacon
 - Gassendi
 - Boyle
 - Lémery
 - Newton: deduz a Lei de Boyle
 - Descartes: horror ao vácuo
 - Faraday: vácuo isolante

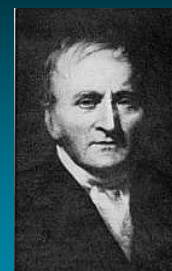
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

17/60

Modelo Atômico de Dalton

- Aplicação à Química
 - formação dos compostos a partir dos elementos
 - única propriedade: “peso”
 - “peso relativo” = equivalente-grama
 - molécula: combinação de átomos em proporções simples

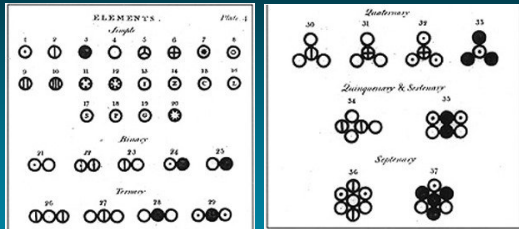


23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

18/60

Modelo Atômico de Dalton



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

19/60

Modelo Atômico de Dalton

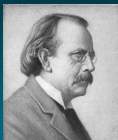
- início do átomo clássico, mecânico
- racionalização dos dados químicos
- conservação da massa

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

20/60

Modelo Atômico de Thompson



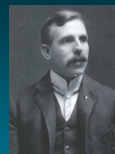
- raios catódicos: e/m = elétron
- cargas elétricas
- átomo composto
- 'pudim de ameixas'

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

21/60

Modelo Atômico de Rutherford



- estudante de Thompson
- espalhamento por folha de ouro
 - ⇒ partículas carregadas
 - ⇒ núcleo

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

22/60

Modelo Atômico de Rutherford

- coroamento do átomo clássico
- propriedades macroscópicas resultantes das interações
- átomo material, com propriedades microscópicas

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

23/60

Röntgen & Von Laue



- Em 1895 e 1896 Röntgen elabora pesquisas que evidenciam a emissão de uma radiação diferente que chamam de raio X, von Laue confirma em 1912 estes trabalhos.

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

24/60

Final do séc. XIX

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

25/60

O Fim da Física

- “Agora, não há mais nada novo para ser descoberto pela Física. Tudo o que nos resta são medições cada vez mais precisas.” (Lord Kelvin, matemático, físico e presidente da *Royal Society* Britânica)

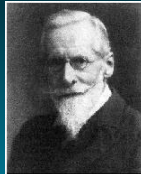
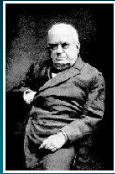
(em palestra para a *British Association for the Advancement of Science* em 1900)

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

26/60

O Fim da Física



- No final do século XIX, parece que a física está acabada para a maioria dos físicos.
- Os raios catódicos são identificados no final do século XIX por Hottorf, e aperfeiçoados por Goldstein e Crookes

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

27/60

Séc. XX

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

28/60

Pierre e Marie Curie

- Pierre e Marie Curie: pesquisa em química sobre as substâncias a que dão o nome de **radioativas**



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

29/60

Rutherford & Soddy



- Entre 1900 e 1904, Rutherford e Soddy lançam a hipótese da transmutação dos átomos radioativos, hipótese ousada para a época, que sofreu várias críticas.

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

30/60

Radiação de Corpo Negro

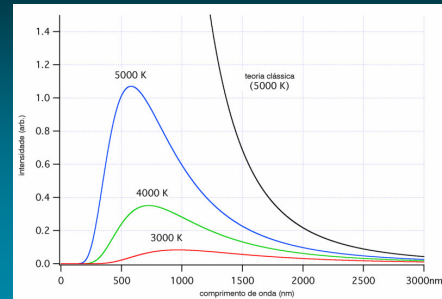
- corpo quente emite radiação
- a frequência é característica da temperatura (Lei do corpo negro)
 - infravermelho (calor)
 - luz visível (rubro)
 - raios X
 - raios gama

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

31/60

Radiação de Corpo Negro



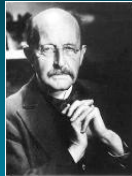
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

32/60

Planck

- hipótese de radiação em pacotes, que denominou, no singular de quantum.
- frequência proporcional à energia contida



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

33/60

Radiação de Corpos Negros

- h: cte. de Planck: $6,63 \times 10^{-34}$ J·s
- k: cte. de Boltzmann: $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
- 12/1900: "elemento de energia" → quantum
- radiação contínua

$$E(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$U_n = N\varepsilon$$

$$\varepsilon = h\nu$$

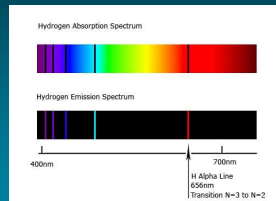
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

34/60

Espectros de emissão

- conhecidos desde 1860



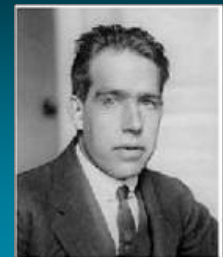
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

35/60

Bohr

- início da visão quântica
- utiliza a teoria quântica de Planck
 - estados estacionários
 - órbitas clássicas



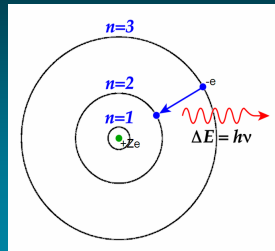
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

36/60

Modelo Atômico de Bohr

- 1913
- ação quantizada
- frequência proporcional à diferença de energias



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

37/60

Interpretação de Espectros

- cte. de Rydberg:
 $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
- raio de Bohr:
 $5,292 \times 10^{-11} \text{ m}$

$$L = n \frac{h}{2\pi}$$

$$\Rightarrow E = -\frac{me^4}{8\epsilon_0 h^2} \frac{1}{n^2}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

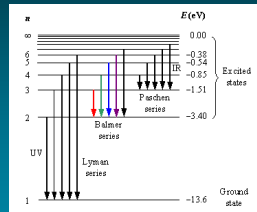
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

38/60

Interpretação de Espectros

- racionaliza dados espectroscópicos
- passo decisivo no conhecimento do átomo
- comparável à introdução do sistema de Copérnico



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

39/60

Modelo Atômico de Bohr

- deu sólida base experimental à elaboração da mecânica quântica
- estudou as variações progressivas das propriedades químicas dos elementos

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

40/60

Einstein

- 1905 - publica a TR sob o título de "sobre a Termodinâmica dos corpos em movimento"
- 1916 - enuncia a Teoria da Relatividade Geral
- 1921 - Prêmio Nobel de Física por seus estudos sobre o efeito fotoelétrico

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

41/60

Efeito Fotoelétrico

- probl. da intensidade
- probl. da frequência
- 03/1905: radiação quantizada
- Teoria corpuscular da luz
- Planck (1913): Einstein "perdeu o rumo nas suas especulações"

$$E = h\nu$$

$$E = E_c + mc^2$$

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

$$\Rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$$

$$E = h\nu = \phi + eV_0$$

$$\Rightarrow V_0 = (h/e)\nu - \phi/e$$

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

42/60

de Broglie

- raciocinou por analogia: existem cargas positivas e negativas, frio e o calor, etc.
- o universo observável é composto inteiramente de matéria e energia (luz, raios cósmicos, etc.).
- previu o comprimento de onda de uma radiação associada a um elétron



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

43/60

Dualismo Partícula-Onda

- Einstein, de Broglie & Schrödinger
- energia quantizada: partícula
- momento linear como função do comprimento de onda: onda
- de Broglie (1923): extensão à matéria
- difração de elétrons (1927)

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

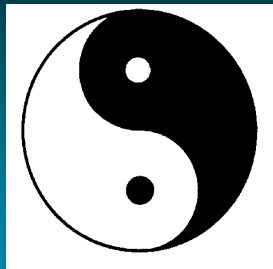
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

44/60

Princípio da Complementaridade

- Bohr (1928): partícula e onda: aspectos complementares mas não simultâneos
- Davies: "não tente visualizar uma onda-partícula!"



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

45/60

Incompreensibilidade

- "Durante a história da humanidade, nenhum estilo foi completamente incompreensível para o público como a arte que se produziu a partir do início do século XX. Em certa medida, o aparecimento de uma arte impenetrável tem uma ligação com o surgimento de uma ciência que também desnozteou o público das suas noções básicas da realidade."

(REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.:
Ciência e arte: relações improváveis?)

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

46/60

Incompreensibilidade

- "Tanto o átomo quanto o instrumento de medida são incompreensíveis. Não podemos compreender o mundo quântico porque este é estranho ao entendimento humano. A pintura surrealista também é, por vezes, incompreensível a partir de uma racionalidade clássica, ou melhor, de uma consciência realista. É necessário buscar uma supra-realidade."

(REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.:
Ciência e arte: relações improváveis?)

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

47/60

Efeito Compton

- Compton (1923): dois picos: λ e λ'
- fóton perde energia na colisão com elétron livre $\Rightarrow \lambda' < \lambda$
- colisão com elétron não livre: elástica $\Rightarrow \lambda$
- colisão c/ conservação de momento e de energia
- extensão do modelo dualístico ao raio-X

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

48/60

Princípio de Incerteza

- Heisenberg (1927)
- não se pode saber ao mesmo tempo onde está e com qual velocidade
⇒ abandonar a "falácia da bolinha"

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx h$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h$$

$$\Delta x = L$$

$$\Delta p = 2p = \frac{2h}{2L}$$

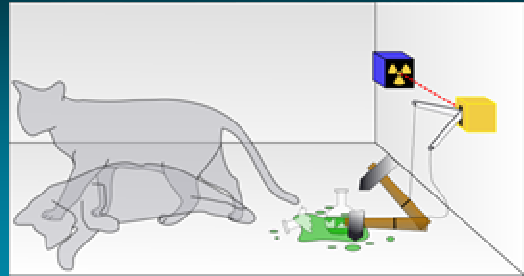
$$\Delta x \cdot \Delta p \approx h$$

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

49/60

O Gato de Schrödinger



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

50/60

Irrealidade

- "Os físicos estão se acostumando, pouco a pouco, a considerar as órbitas eletrônicas etc., não como realidade e sim como uma espécie de 'potência'. A linguagem terminará se acostumando, ao menos até certo ponto, a esta situação real. Mas não é uma linguagem precisa com que se possa empregar os modelos lógicos normais, é uma linguagem que produz imagens em nossa mente, porém junto com elas provoca também a sensação de que as imagens só têm uma vaga relação com a realidade, que representam somente uma tendência até a realidade."

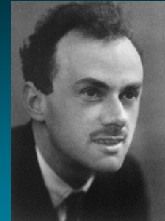
Heisenberg

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

51/60

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984)



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

52/60

Dirac

- 1928: quântica + relatividade = Equação de Dirac

$$\left(\alpha_0 m c^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j p_j c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$

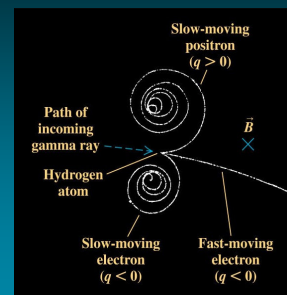
23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

53/60

Dirac

- soluções quadridimensionais
- 2 para os estados do elétron
- e as outras 2?
⇒ pósitron (1932)
⇒ antimatéria



23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

54/60

Dirac

- 1930: publica *Principles of Quantum Mechanics*, livro-texto até hoje
- inclui a notação *bra-ket*

$$|\psi\rangle = (c_0, c_1, c_2, \dots)^T$$

$$\langle\psi| = (c_0^*, c_1^*, c_2^*, \dots)$$

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

55/60

Dirac

- 1930: eleito para *Royal Society*
- 1933: Prêmio Nobel com Schrödinger

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

56/60

Referências

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

57/60

Referências

- HALLIDAY, RESNICK & WALKER, *Fundamentos de Física*, vol. 4, cap. 43, 44 e 45
- MORTIMER, *Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências*, cap. 3
- PESSOA, Jr., Osvaldo. *Conceitos de Física Quântica*.
- HERBERT, Nick. *A realidade quântica: nos confins da nova física*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

58/60

Referências

- REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.: Ciência e arte: relações improváveis? *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, out./2006. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/hcsm/v13s0/04.pdf>>
- NUNES, Anderson Lupo. A Física Quântica para Todos. In: Atas do XVII SNEF, São Paulo : SBF, 2007. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 4 abr. 2008
- GOMBRICH, E.H. *História da Arte*.

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

59/60

Referências

- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmogonia>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Mecânica_quântica
- http://en.wikipedia.org/wiki/Interpretation_of_quantum_mechanics

23-nov-2009

© www.fisica-interessante.com

60/60