

Tópicos de História da Física Moderna

Uma Verdadeira Mecânica Quântica

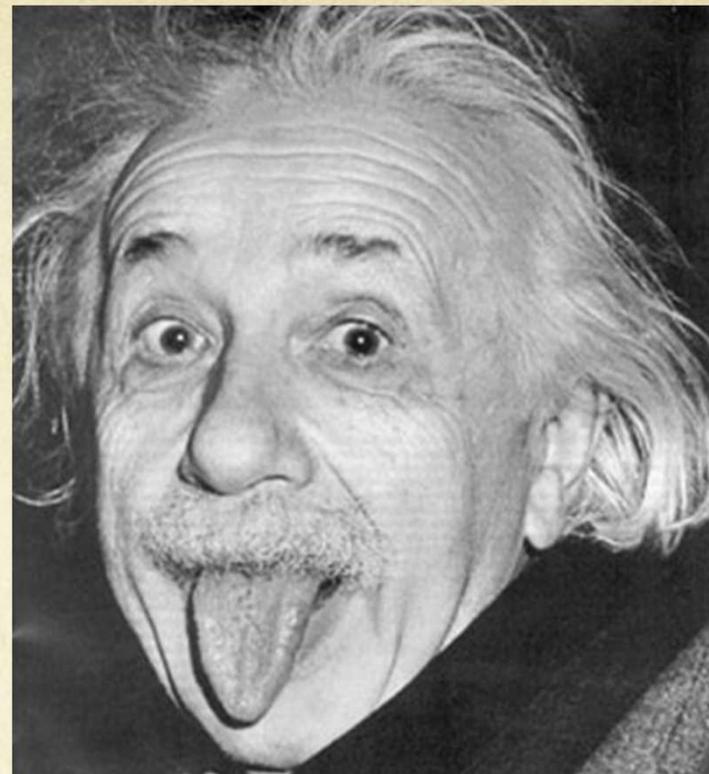
Grupo 5

Débora - Henrique - João - Vinícius

Qual a importância de investir na educação?

- “No início da década de vinte, os métodos antigos já haviam alcançados seus limites e era necessário que surgissem uma nova geração e novas forças para solucionar o problema de uma mecânica quântica consistente, na área da física. Era o maior desafio do século e exigia, para a sua solução, novas maneiras de pensar.” – SEGRÈ (1980). p. 153.

Não que os “velhos”
fossem ruins...



... mas era preciso
cabeças frescas.

Louis de Broglie

Louis-Victor-Pierre-Raymond (1892-1987)

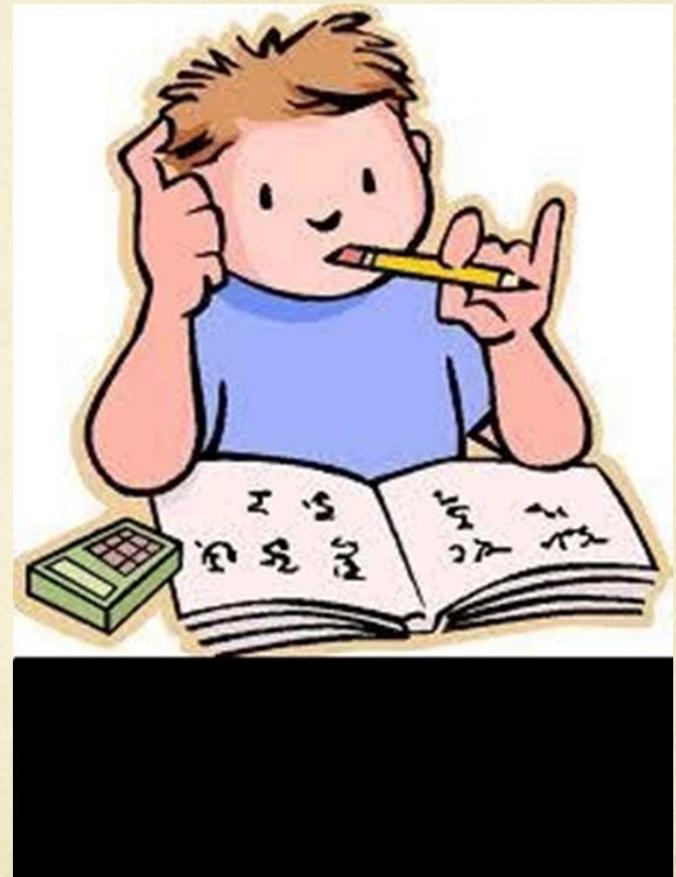


Louis de Broglie

- Irmão 18 anos mais velho cuidou da educação de Louis;
- Maurice de Broglie → físico conhecido por estudos clássicos sobre os raios X realizado no laboratório do palácio da família;
- Foi secretário do primeiro Conselho Sovey e comentou com o caçula sobre os problemas da natureza da luz.

Louis de Broglie

- Louis de Broglie passou a se interessar pela física e começou a “meditar” sobre o dilema da luz.



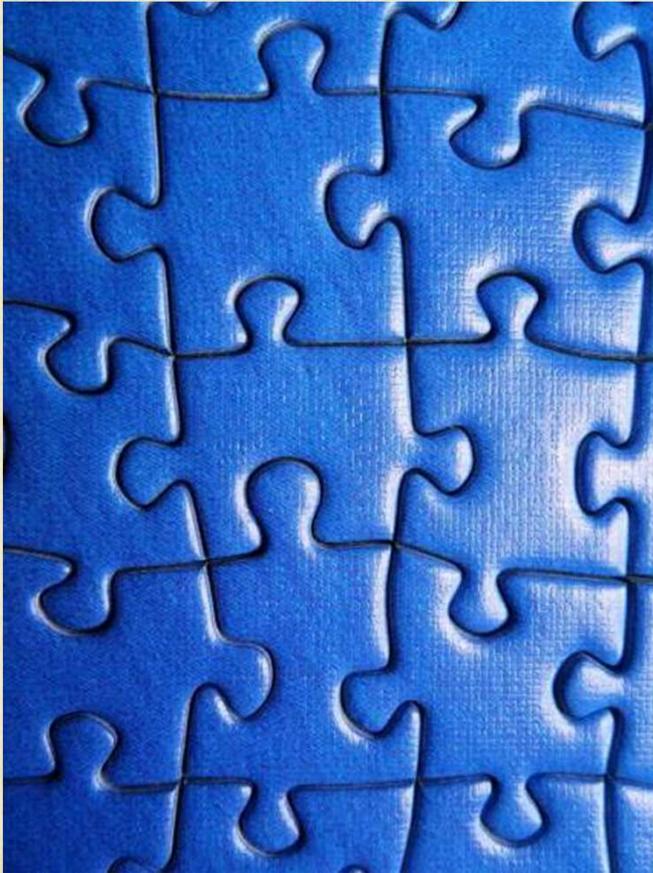
Louis de Broglie

O dilema da luz

- Exp. de interferência e difração → onda eletromagnética
- Hipótese de Einstein → corpuscular / matéria

Ambos apoiados (?) por indícios experimentais sólidos.

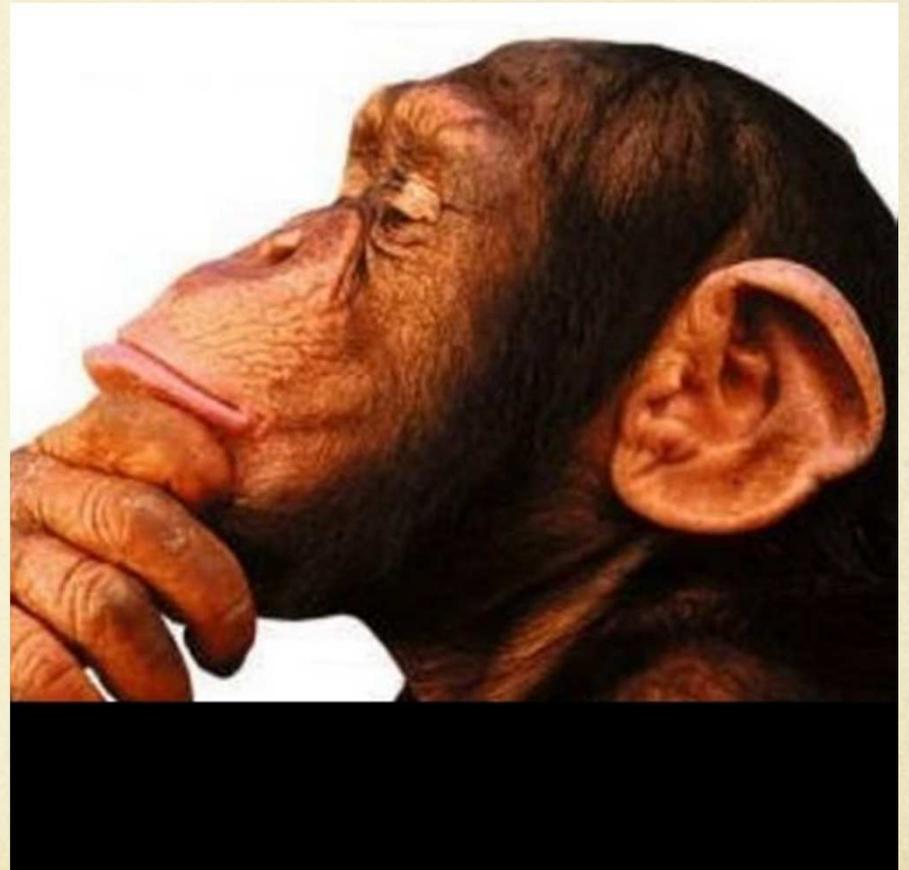
Louis de Broglie



- Einstein já dava entender que esse era um dos maiores problemas da física.

Louis de Broglie

- Mas como conciliar dois aspectos tão contraditórios?



Louis de Broglie

- Até o momento os únicos fenômenos que envolvem números inteiros na física são os da:
 - Interferência
 - Tons normais de vibração
- Teve a idéia de atribuir periodicidade ao elétron

Louis de Broglie

- Usou da relatividade para desenvolver seus argumentos e chegou à relação fundamental:

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

Louis de Broglie

- Para obter ondas estacionárias em uma órbita,
Número inteiro de comprimentos de onda

Normas de quantização \rightarrow mesmos resultados de Bohr e Sommerfeld.

Louis de Broglie

- Louis de Broglie aperfeiçoou suas idéias e depois juntou tudo → tese de doutorado.
- Sorbonne ficou embaraçada, pois não sabia como avaliar sua tese.

Werner Heisenberg & Wolfgang Pauli

Werner Karl Heisenberg (1901-1976); Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958)



Werner Heisenberg

- Werner Karl Heisenberg (1901-1976).
- Filho de um professor da Universidade de Munique.
- Exímio músico.
- Esportista e amante da natureza.
- Quase foi matemático.
- Doutorado em Hidrodinâmica (conselho de Bohr).

Wolfgang Pauli

- Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958)
- Aluno de Sommerfeld
- Boêmio.
- Escreveu seu primeiro artigo científico aos 18 anos.
- Personalidade “Forte”.
- “Efeito Pauli”.

Paul Dirac



- Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984)
- Engenheiro Elétrico.
- Personalidade “Forte”.
- Professor Lucasiano de Cambridge

Erwin Schrödinger

Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961)



- Físico Teórico
- Aluno de:
 - Franz Serafin Exner
 - Friedrich Hasenöhlrl
- Contribuições à Mecânica Quântica
- Premio Nobel (1933)

ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 79.

1. *Quantisierung als Eigenwertproblem;* *von E. Schrödinger.*

(Zweite Mitteilung.)¹⁾

§ 1. Die Hamiltonsche Analogie zwischen Mechanik und Optik.

Betrachten wir das allgemeine Problem der klassischen Mechanik konservativer Systeme. Die H.P. lautet vollständig

$$(1) \quad \frac{\partial W}{\partial t} + T\left(q_k, \frac{\partial W}{\partial q_k}\right) + V(q_k) = 0.$$

$$(18) \quad \operatorname{div} \operatorname{grad} \psi - \frac{1}{u^2} \ddot{\psi} = 0$$

$$(18') \quad \operatorname{div} \operatorname{grad} \psi + \frac{8\pi^2}{h^2} (h\nu - V) \psi = 0,$$

bzw.

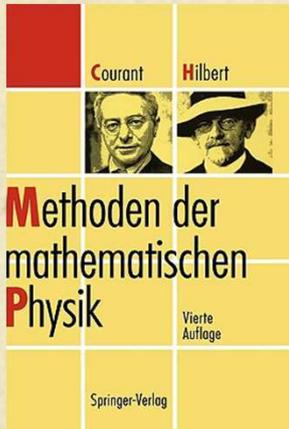
$$(18'') \quad \operatorname{div} \operatorname{grad} \psi + \frac{8\pi^2}{h^2} (E - V) \psi = 0.$$

Erwin Schrödinger

- 1921: Universidade de Zurique
- 1926: Annalen der Physik:
Quantisierung als Eigenwertproblem
(Quantização como um Problema de Autovalor)
- Mecânica de ondas → Enfoque não relativista
- Sistemas independentes do tempo

$$\nabla^2 \psi(x, y, z) + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \cdot [E - U(x, y, z)] \cdot \psi(x, y, z) = 0$$

Equação de Schrödinger



- Equação típica de todos os movimentos ondulatórios
- Richard Courant & David Hilbert → base matemática

- Soluções finitas:

$$\iiint_V |\psi(x, y, z)|^2 \cdot dx \cdot dy \cdot dz < \infty$$

- Autovalores de Energia → quantização



Significado da função ψ



- Max Born \rightarrow densidade de probabilidade:
 - Probabilidade de se encontrar um elétron em um elemento de volume $dx \cdot dy \cdot dz$
 $|\psi(x, y, z)|^2 \cdot dx \cdot dy \cdot dz$
- As teorias de Heisenberg, Dirac e Schrödinger são equivalentes
 - Operadores diferenciais
 - Matrizes

Interpretação

- Onda x Partícula:
 - Luz \rightarrow onda; matéria \rightarrow partículas
- Objetos microscópicos \rightarrow condições quânticas
 - Conceitos clássicos: órbita de uma partícula
 - Conceitos ondulatórios
- Natureza dualística de partículas:
 - Coordenada \times momento linear
 - Energia \times tempo

Princípio da Incerteza / Heisenberg

- Partículas microscópicas → elétron
 - natureza dualística ondulatória e corpuscular
 - Medição simultânea da posição q e do momento p com total precisão (Δq , Δp):

$$\Delta p \cdot \Delta q \approx \frac{h}{2 \cdot \pi} \quad h = 6,626068 \cdot 10^{-34} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}}$$

- Objetos de dimensões humanas
 - A perturbação no comportamento provocada pela observação é desprezível

Uma nova visão da realidade: Complementaridade

- Bohr aprofundou as ideias básicas da mecânica quântica em uma nova forma de pensar:
NOÇÃO DE COMPLEMENTARIDADE
- Formulação da mecânica quântica segundo Bhor, nem todos apreciam revoluções desse tipo;
- Conselho de Solvay, Bruxelas, 1927
- 1928, Dirac



Os mistérios são explicados, mas permanecem as duvidas

- Uma boa quantidade de fenômenos específicos que eram empiricamente conhecidos, mas só podiam ser tratados fenomenologicamente são explicados;
- 1929, começam publicações sistematizadas;
- Spin $\frac{1}{2}$, uma limitação na teoria de Dirac;
- 1972, palavras de Dirac no encerramento de uma conferencia sobre o desenvolvimento da mecânica quântica:

○ (Dirac, Roma, 1972):

“Agora, que podemos fazer com essa situação? Parece-me evidente que ainda não temos as leis fundamentais da mecânica quântica. As leis que estamos usando atualmente precisarão sofrer alguma modificação importante antes de termos uma teoria relativística. É muito provável que essa modificação da atual mecânica quântica para a mecânica quântica relativística do futuro seja tão drástica quanto a modificação da teoria orbital de Bohr para a atual mecânica quântica. Quando fazemos uma alteração tão drástica, naturalmente nossas ideias da interpretação física da teoria com seus cálculos estatísticos podem muito bem ser modificadas”.

FIM