

Física Quântica I / Mecânica Quântica

Introdução com uma experiência emblemática

Vítor M. Pereira

Departamento de Física | Universidade do Minho

2021/22 — 2º Sem

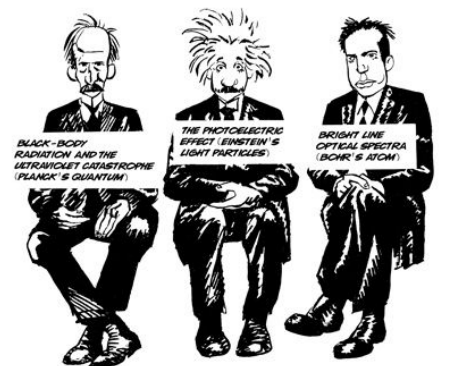
Lição 1

Uma brutal inevitabilidade da realidade física

Necessidade de uma mecânica *quântica*

O majestoso edifício da física clássica por volta de 1900

- Mecânica, Eletrodinâmica, Termodinâmica, Teoria cinética (gases).
- Vinha sendo perturbada com dificuldades fenomenológicas crescentes e insanáveis.



créditos: Quantum theory, a graphic guide



SOLVAY CONFERENCE 1927

colourized by pastelcolour.com

A. PICARD	E. HENRIOT	P. EHRENFEST	Ed. HERSEN	Th. DE DONDER	E. SCHRÖDINGER	E. VERSCHAFFELT	W. PAULI	W. HEISENBERG	R.H FOWLER	L. BRILLOUIN
P. DEBYE	M. KNUDSEN	W.L. BRAGG	H.A. KRAMERS	P.A.M. DIRAC	A.H. COMPTON	L. de BROGLIE	M. BORN	N. BOHR		
I. LANGMUIR	M. PLANCK	Mme CURIE	H.A. LORENTZ	A. EINSTEIN	P. LANGEVIN	Ch.E. GUYE	C.T.R. WILSON	O.W. RICHARDSON		

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL

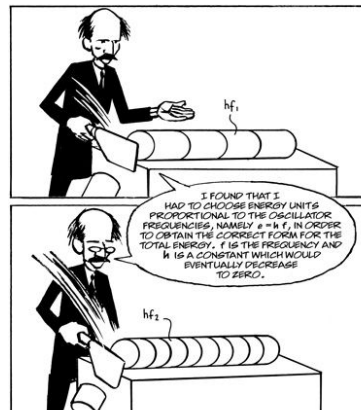
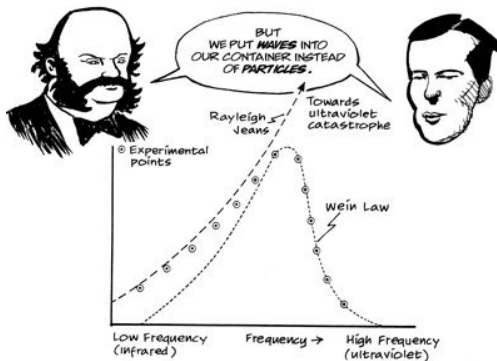
[– reunião do gabinete de crise da física –]

Necessidade de uma mecânica *quântica*

Radiação de corpo negro e a hipótese de Planck

- Planck introduz uma regra de quantização *ad-hoc*: $E = n h \nu$
- h emerge como cunho de características incontornavelmente quânticas:

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}, \quad \hbar \equiv \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$$

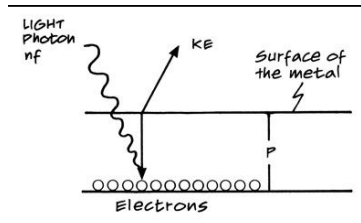
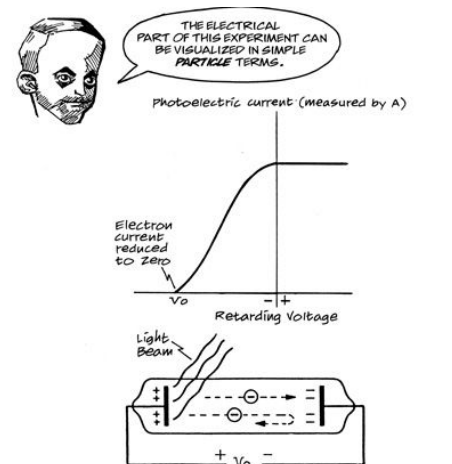


créditos: Quantum theory, a graphic guide

Necessidade de uma mecânica quântica

Efeito fotoelétrico

- A experiência de Philipp Lenard
- Interpretação de Einstein e o conceito de **fóton**: $E = h\nu$

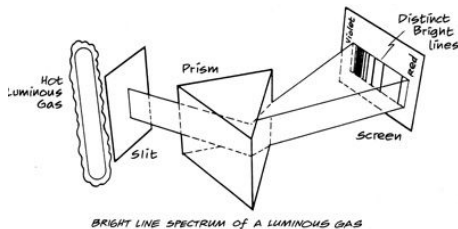


créditos: Quantum theory, a graphic guide

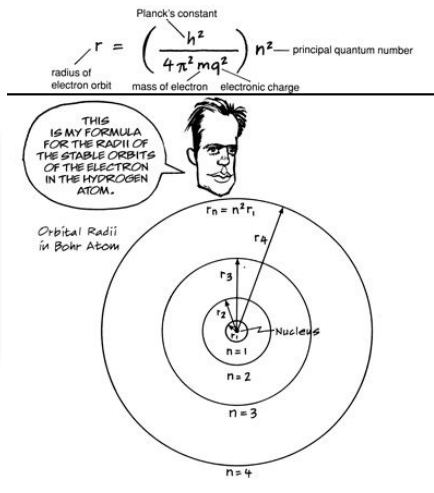
Necessidade de uma mecânica *quântica*

Espectro de absorção/emissão de gases

- Ocorre **apenas** para um conjunto discreto e precisamente definido de frequências.
- Bohr postula a quantization da energia (estabilidade atômica): $E_n = -\frac{R_H}{n^2}$



créditos: Quantum theory, a graphic guide



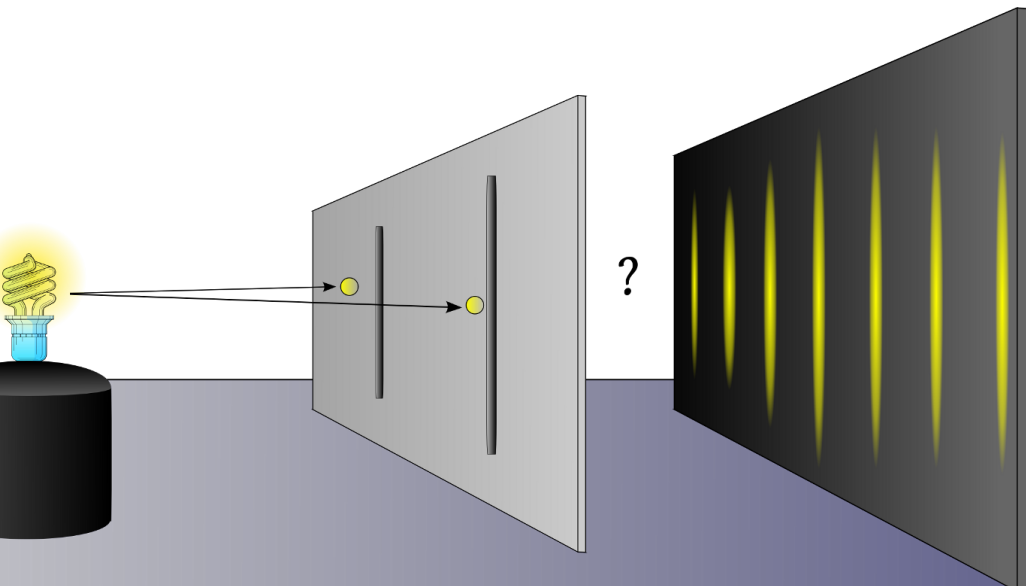
Necessidade de uma mecânica *quântica*

Ondas de matéria de De Broglie (dualidade partícula-onda)

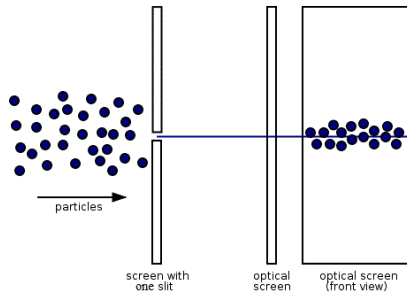
- Ondas EM ($\omega = ck$) vs fótons: $E = pc \longrightarrow = \hbar k = h/\lambda$
- Postula comprimento de onda característico de uma partícula como $\lambda_B \equiv h/p$
- λ_B permite na prática averiguar a necessidade de tratamento quântico (vs clássico)



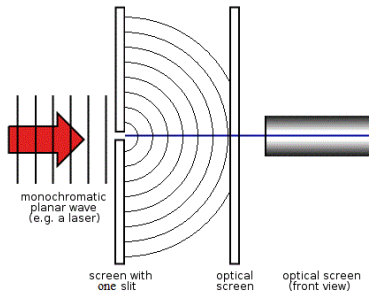
créditos: Quantum theory, a graphic guide



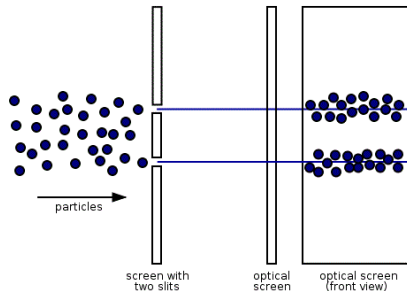
Partículas clássicas



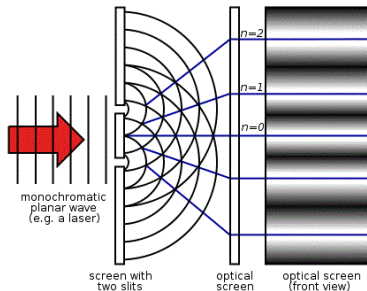
Ondas clássicas



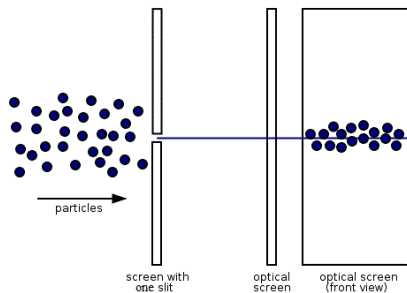
Partículas clássicas



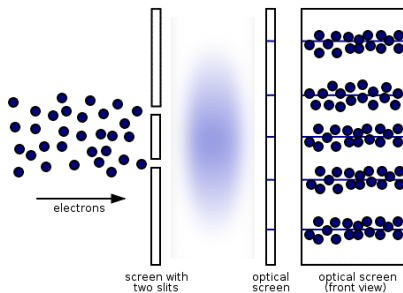
Ondas clássicas



Partículas quânticas (1 fenda)



Partículas quânticas (2 fendas)

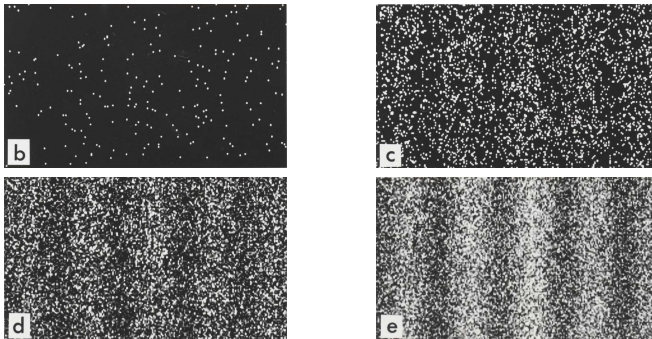


Interferência de partículas!?!... É mesmo real!?

Completamente! Dois exemplos:

- Travessia de **fótons individuais** num setup 2-fendas: [link](#)
- Travessia de **elétrões individuais** num setup 2-fendas: [link](#)

Resultados da experiência de Tonomura *et al.* à medida que o tempo passa e mais elétrões chegam ao detector:



American Journal of Physics 57, 117 (1989)

Visualização recomendada

Uma descrição inspiradora **nesta** aula online, pelo Prof. R. Shankar (Yale University).

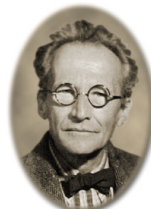
É uma experiência emblemática dos aspetos e características centrais da mecânica quântica, muitos deles contra-intuitivos com a experiência diária do mundo macroscópico:

❶ Propriedades dos sistemas quânticos sem análogo clássico:

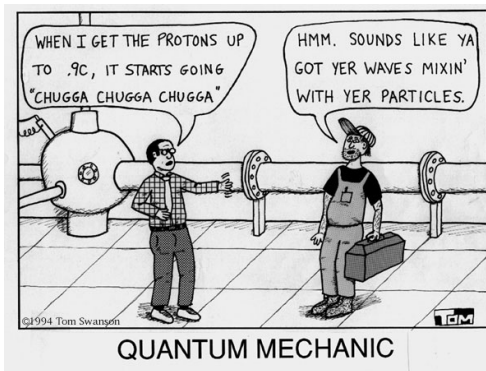
- Seu destino/evolução é determinado por um **vector de estado** ou **função de onda**, $\psi(\mathbf{r})$;
- ψ determina a **probabilidade** de encontrar o sistema num dado estado num determinado momento;
- ψ incorpora *toda* a informação sobre o estado do sistema;
- **Sobreposição** linear de estados é uma característica intrínseca de sistemas quânticos;
- **Incerteza** entre certos pares de grandezas físicas é inevitável;
- Resultados de medidas experimentais apenas podem ser caracterizados em termos probabilísticos; $|\psi|^2$ determina essas probabilidades em cada caso;
- Em geral, o estado do sistema não é precisamente especificável até ao momento em que se realiza uma **medição**;
- O processo de medição **modifica** radicalmente ψ .

❷ A evolução de um sistema quântico é governada pela eq. de Schrödinger. Para uma partícula num potencial simples $V(\mathbf{r})$, tem a forma

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2 \nabla^2}{2m} \psi(\mathbf{r}, t) + V(\mathbf{r}) \psi(\mathbf{r}, t)$$



Erwin Schrödinger
(1887-1961)



- 1 Para nos tornarmos “praticantes” de mecânica quântica **não é suficiente** conhecer a equação de onda de Schrödinger para uma partícula.
- 2 A teoria quântica decorre de **postulados, métodos e “linguagem” diferentes do familiar** em física clássica, com os quais nos precisamos de familiarizar.
- 3 É uma teoria abrangente mas matematicamente rigorosa, assente na “maquinaria” e nas “ferramentas” de álgebra linear que descrevem **espaços vetoriais**.

A compreensão e a prática de MQ exige familiaridade e “à vontade” com as técnicas de “navegação” nestes espaços vetoriais.