

Metodologias alternativas no ensino de física



Ricardo Karam & Nelson Studart



Minicurso 2 – Parte 1



Física Quântica sem dualidade onda-partícula



Por que esta conversa na EBEF?

Enquete pessoal junto aos professores-alunos do MNPEF:

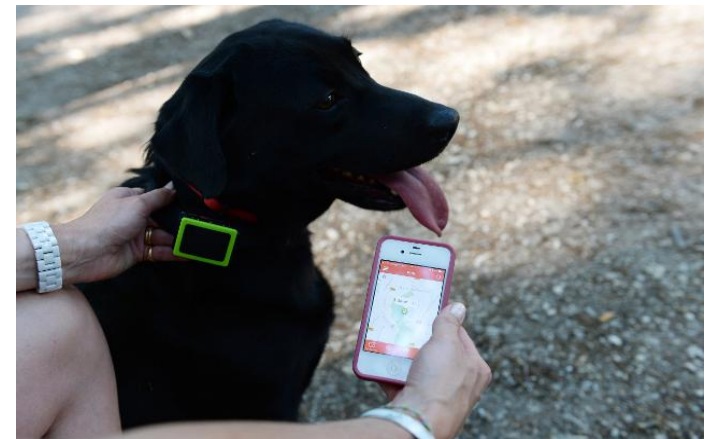


A esmagadora maioria (quase unanimidade!) dos professores do EM não se sentem capacitados a ensinar conceitos básicos da física quântica

Por que ensinar física quântica?

- ◆ Direito do aluno à aprendizagem: física quântica (mundo microscópico) é tão básica quanto a física clássica (mundo macroscópico).
- ◆ conteúdos significativos ao aluno que possibilitam uma compreensão do mundo atual. Há demanda na sociedade por este conhecimento.
- ◆ Prevenção contra pseudociência: misticismo quântico (filme: quem somos nós?), cura quântica...
- ◆ Aplicações práticas da física quântica:
 - eletrônica moderna é baseada na estrutura de bandas de semicondutores
 - computadores e celulares; lasers; LEDs nanotecnologia, imageamento NMR, PET, lasers e telecomunicações, GPS internet quântica.
- ◆ Interdisciplinaridade: Química quântica. Biologia quântica (tunelamento, coerência e emaranhamento).

Jim Al-Khalili <https://goo.gl/h9VvCU>



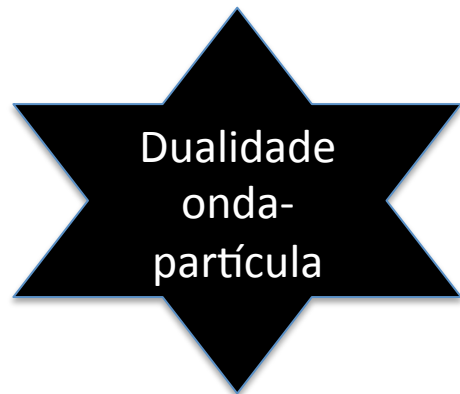
Créditos: MIGUEL MEDINA/AFP/Getty Images)

Ensino de física quântica – ensino médio

- ◆ nos currículos: física moderna e contemporânea (FMC)
- ◆ na matriz de referência do ENEM: “interação entre a radiação e a matéria e suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos”. Mas, nada consta nos “Objetos de conhecimento associados às matrizes de referência”.
- ◆ No Edital do PNLD-EM Física: “Contempla e aborda, de forma adequada e pertinente, conhecimentos usualmente classificados como de Física Moderna e Contemporânea?”

Trivium da FMC:

- Radiação do corpo negro
- Efeito fotoelétrico
- Modelo de Bohr



Ensino de física quântica – ensino superior

- ◆ FMC aparece no volume 4 dos livros didáticos de física básica usados em disciplinas de serviço. Exceção: Nussenzweig.
- ◆ No BCT – UFABC



Sigla: BCK0103-15

TPI: 3-0-4

Carga Horária: 36h

Recomendação: Estrutura da Matéria; Fenômenos Mecânicos; Fenômenos Térmicos; Fenômenos Eletromagnéticos.

Objetivos: Apresentar os conceitos da teoria quântica, com a perspectiva de uma compreensão básica dos fenômenos que se originam na escala atômica, seus efeitos e aplicações tecnológicas.

Ementa: Bases experimentais da Mecânica Quântica. Quantização de Energia e Momento

Angular. Modelo de Bohr e átomo de hidrogênio. Dualidade onda-partícula. Relação

de incerteza de Heisenberg. Equação de Schrodinger: função de onda, soluções de potenciais unidimensionais simples. Tunelamento. Solução da equação de Schrodinger para o átomo de Hidrogênio. Números quânticos, níveis de energia, spin e princípio de exclusão de Pauli.

Bibliografia Básica:

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A.; Física Moderna, Grupo Editorial Nacional (gen) – LTC (2010).

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W.; Ótica e Física Moderna, Ed. Thomson.

YOUNG, H.D.; FREEMAN, R. A.; Sears e Zemansky física IV: ótica e Física Moderna, Ed. Pearson.

Bibliografia Complementar:

EISBERG, R.; RESNICK, R., Física Quântica, Editora Câmpus (referência básica auxiliar).

NUSSENZVEIG, H. Moysés, Curso de Física Básica - volume 4 (Ótica, Relatividade, Física Quântica), Ed. Edgard Blucher LTDA (1998).

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. Lições de física de Feynman. Porto Alegre: Bookman2008. 3 v.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo; Conceitos de física quântica. 3 ed. Sao Paulo: Editora livraria da fisica, 2006.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. Física Moderna; origens clássicas e fundamentos quânticos, Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 608p.

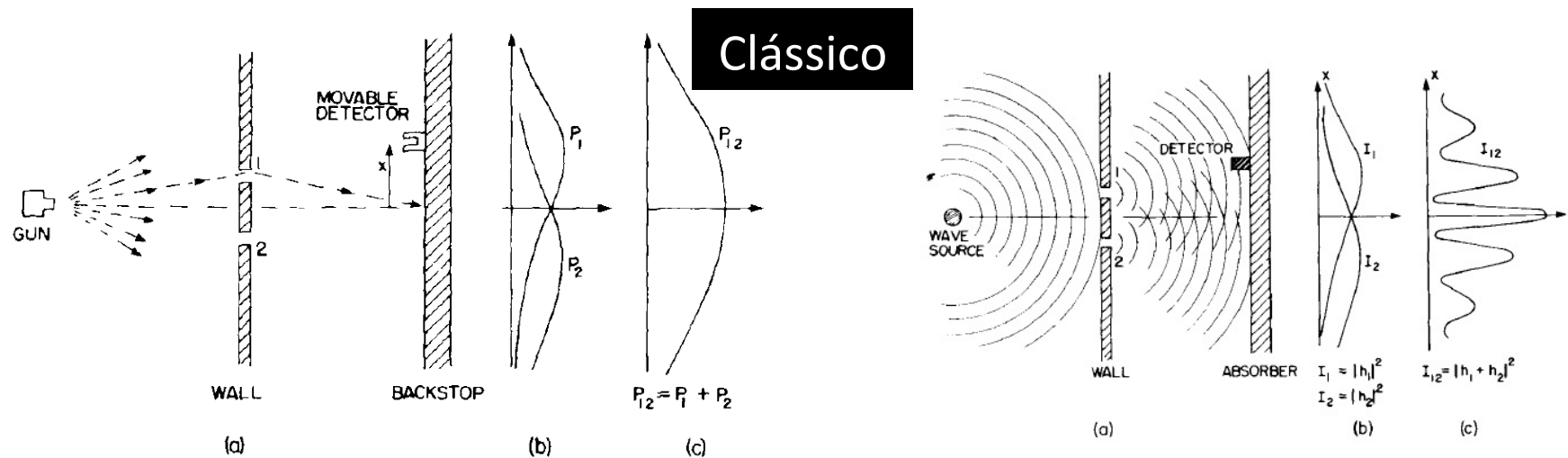
Ensino de física quântica – licenciaturas

- ◆ Disciplinas: Estrutura da Matéria ou FMC
(Tipler-Llewellyn; Eisberg-Resnick;...)

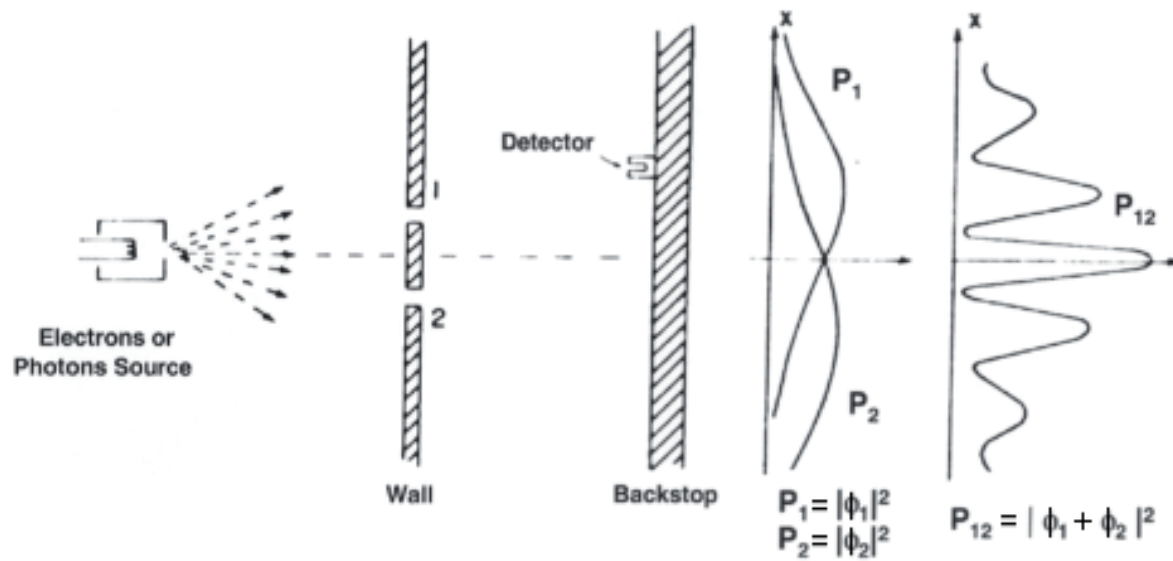
"Todos os [quatro] cursos [de licenciatura em física] apresentam em suas ementas tópicos como: relatividade restrita, condução de eletricidade em sólidos, modelos atômicos, Física Nuclear, efeito fotoelétrico, radiação de corpo negro, propriedades **corpusculares** da radiação eletromagnética, comportamento **ondulatório** das partículas (postulado de Broglie), Mecânica Quântica, partículas elementares, Física da matéria condensada, entre outros."

Rodrigo Araújo, Letícia Zago: Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 10, No. 4, Dec. 2016

Experimento da dupla fenda



Quântico



Feynman: Fenômeno que é impossível, *absolutamente* impossível de explicar de qq maneira tradicional e que tem a MQ no seu âmago. Na verdade, ele contém o *único* mistério.

Por que "dualidade onda-partícula"?

Biprisma de elétrons

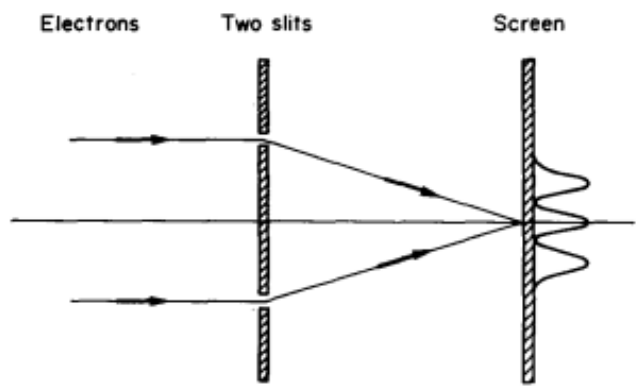
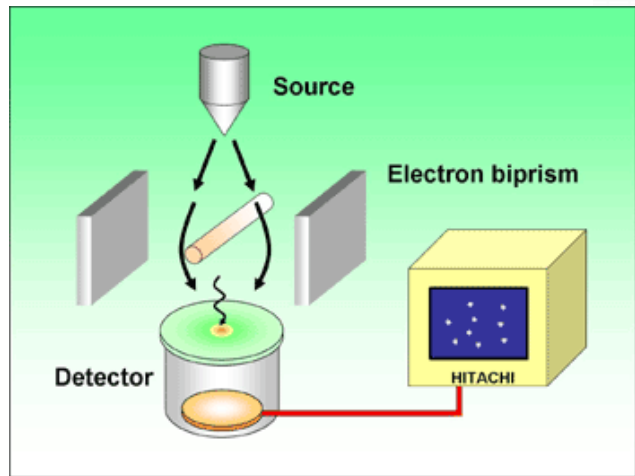


Fig. 1. Two-slit electron interference experiment.

<https://bit.ly/2Mh7M9X>

Tonomura et al., AJP, 57(2) 117, (1989)

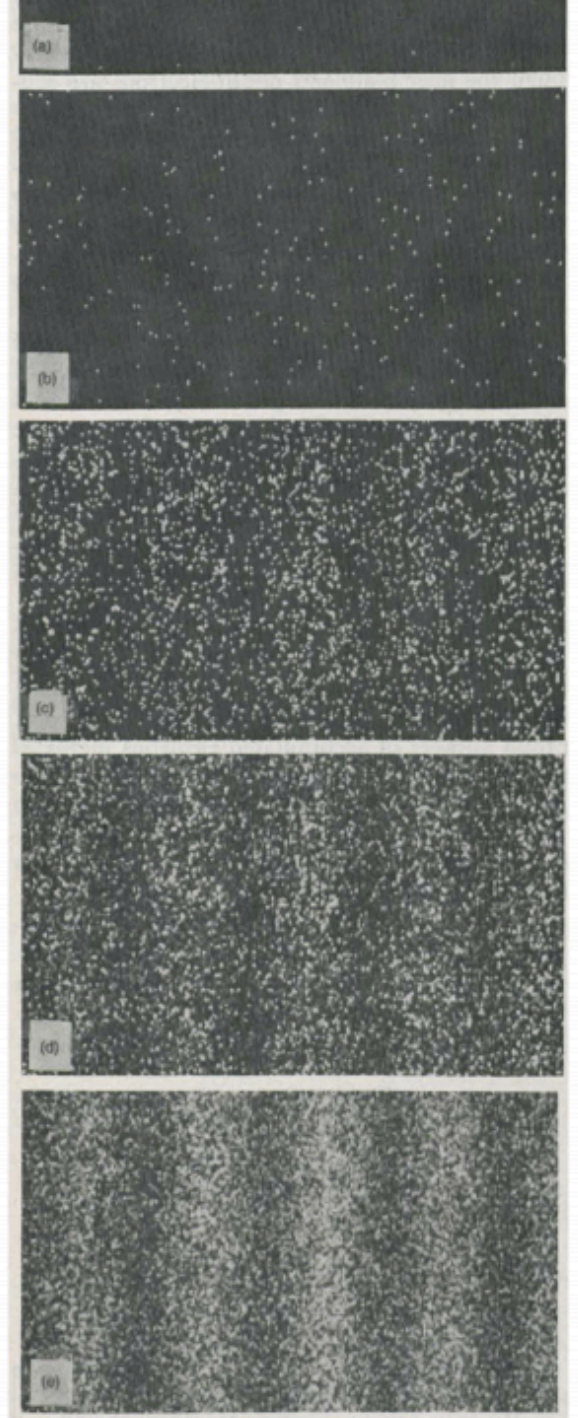


Fig. 5. Building of the electron interference pattern. The upper

O que acontece antes da detecção?

Realismo ondulatorio: Só existem ondas. O que parecem partículas seriam “pacotes de onda” (Schrödinger, 1926).



Realismo dualista: Existem ondas e partículas, juntas (L. de Broglie, 1926)

Instrumentalismo: Nada a declarar! Na ciência, só devemos falar sobre aquilo que observamos". (Heisenberg, 1925).

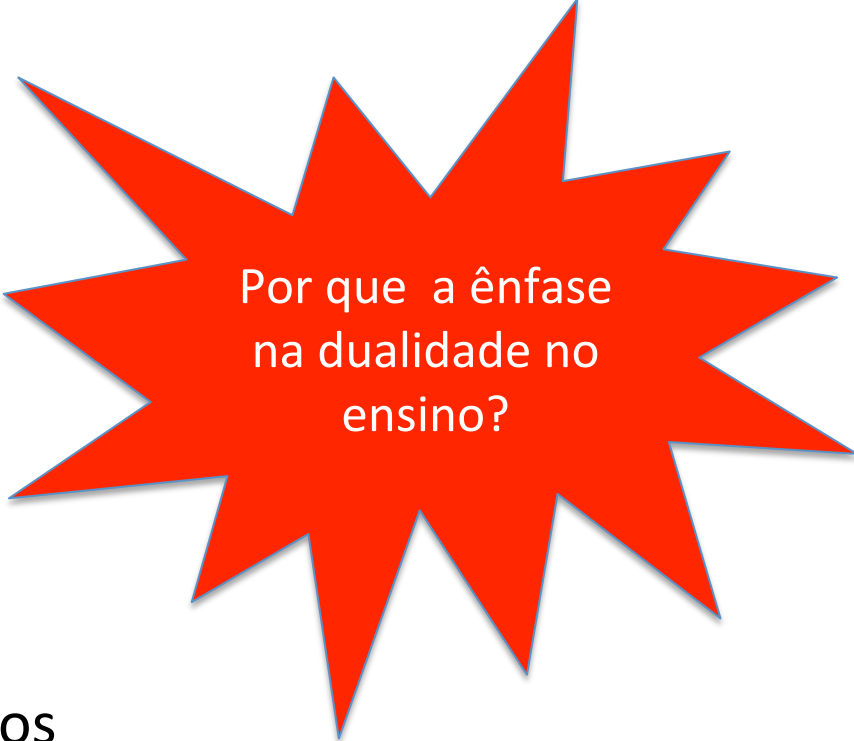


Complementaridade (Bohr): A representação da realidade tem que ser “clássica”; ou usamos um quadro ondulatorio OU corpuscular para descrever um experimento, nunca ambos ao mesmo tempo; antes do final do experimento, nada a declarar!



Interpretações da mecânica quântica

- ◆ Ondulatória Realista
- ◆ Realista dos Coletivos
- ◆ Dualista Realista
- ◆ Complementaridade
- ◆ Instrumentalista dos Coletivos



Por que a ênfase
na dualidade no
ensino?

O que dizem os docentes da academia

Faculty Disagreement about the Teaching of Quantum Mechanics

Michael Dubson¹, Steve Goldhaber^{1,2}, Steven Pollock¹, and Katherine Perkins^{1,2}

¹*Department of Physics, UCB 390, University of Colorado at Boulder, Boulder CO 80309*

²*Science Education Initiative, University of Colorado, Boulder, CO 80309*

Abstract. To guide research-based transformation of upper-division physics classes, it is useful to identify learning goals that are broadly supported by the faculty. Our efforts to transform our junior-level E&M course have revealed a broad faculty consensus on the content of the course, if not the pedagogical approach. In contrast, we find a range of opinions on both the content and the pedagogy in junior-level QM. We surveyed 27 faculty about their approaches to teaching QM, and reviewed 20 quantum textbooks. Although there is broad agreement on the list and order of topics (Schrödinger equation to matrix methods and spin), we find substantial disagreement in several pedagogical aspects, including (1) the importance of presenting QM on an axiomatic basis (i.e. the postulates); (2) the treatment of measurement in QM (in particular, the collapse of the wave function); and (3) the physical interpretation of the wave function (matter wave vs. information wave vs. something else).

O que dizem os docentes da academia

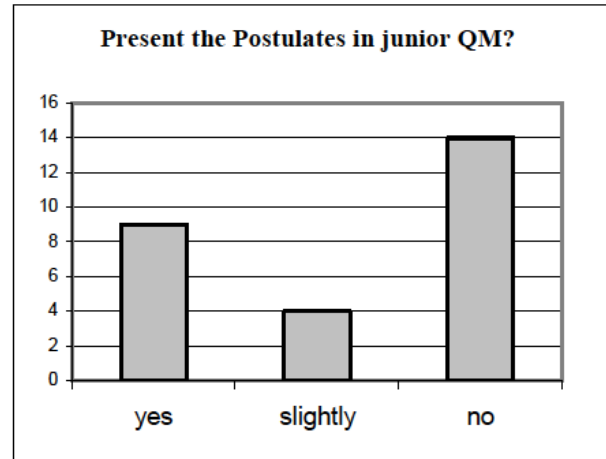


FIGURE 1. 27 faculty were asked if they would emphasize the Postulates of QM when teaching junior-level QM.

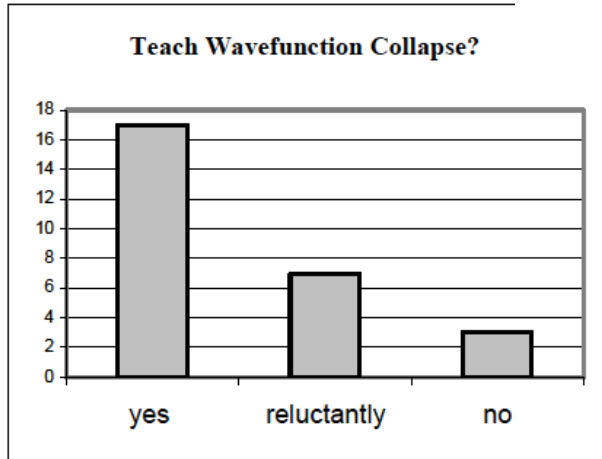


FIGURE 2. Most faculty teach the wavefunction collapse, but many do so with some reluctance.

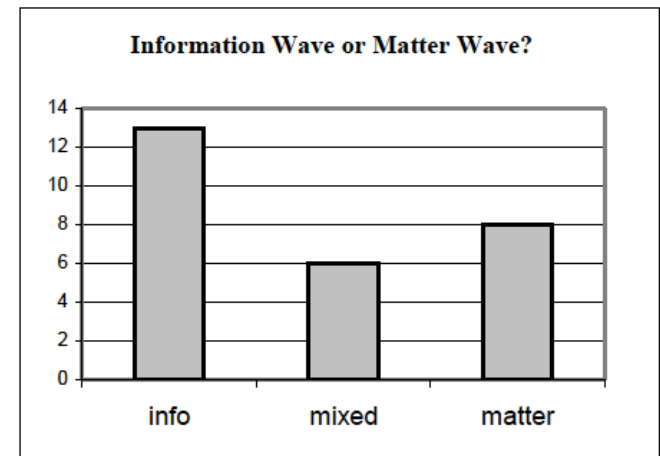


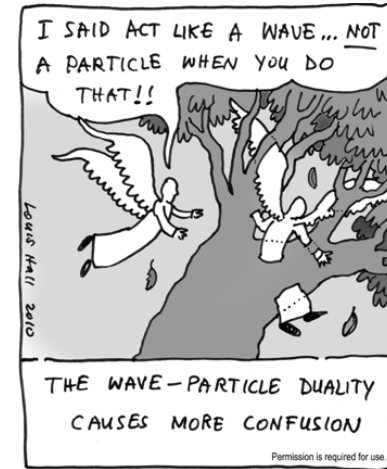
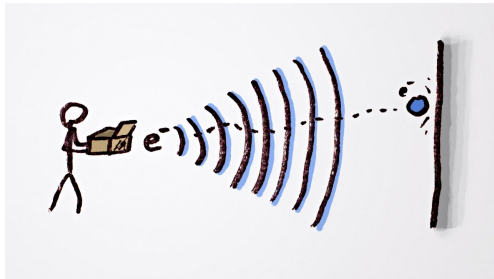
FIGURE 3. Faculty are split on the interpretation of the wavefunction as an information wave or a matter wave.

Dificuldades na aprendizagem dos alunos



Charles Addams, New Yorker, 1940

O que dizem as pesquisas



Student understanding of the wave nature of matter: Diffraction and interference of particles

Stamatis Vokos, Peter S. Shaffer, Bradley S. Ambrose, and Lillian C. McDermott
Department of Physics, Box 351560, University of Washington, Seattle, Washington 98195-1560

(Received 6 December 1999; accepted 27 March 2000)

This paper reports on a study of student understanding of the wave nature of matter in the context of the pattern produced by the diffraction and interference of particles. Students in first-year, second-year, and third-year physics courses were asked to predict and explain how a single change in an experimental setup would affect the pattern produced when electrons or other particles are incident on a single slit, double slit, or crystal lattice. The errors made by students after standard instruction indicated the presence of similar conceptual and reasoning difficulties at all levels. Among the most serious was an inability to interpret diffraction and interference in terms of a basic wave model. Other errors revealed a lack of a functional understanding of the de Broglie wavelength. Students often treated it as a fixed property of a particle, not as a function of the momentum. An important goal of this investigation was to provide a research base for the design of instruction to help students develop and apply a basic wave model for matter. © 2000 American Association of Physics Teachers.

O que dizem as pesquisas

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - PHYSICS EDUCATION RESEARCH 6, 010101 (2010)

Teaching and understanding of quantum interpretations in modern physics courses

Charles Baily and Noah D. Finkelstein

Department of Physics, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309, USA

(Received 14 July 2009; published 27 January 2010)

Just as expert physicists vary in their personal stances on interpretation in quantum mechanics, instructors vary on whether and how to teach interpretations of quantum phenomena in introductory modern physics courses. In this paper, we document variations in instructional approaches with respect to interpretation in two similar modern physics courses recently taught at the University of Colorado, and examine associated impacts on student perspectives regarding quantum physics. We find students are more likely to prefer *realist* interpretations of quantum-mechanical systems when instructors are less explicit in addressing student ontologies. We also observe contextual variations in student beliefs about quantum systems, indicating that instructors who choose to address questions of ontology in quantum mechanics should do so explicitly across a range of topics.

O que dizem as pesquisas

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - PHYSICS EDUCATION RESEARCH 6, 020121 (2010)

Design and validation of the Quantum Mechanics Conceptual Survey

S. B. McKagan,^{1,*} K. K. Perkins,² and C. E. Wieman^{3,1,2}

¹*JILA, University of Colorado and NIST, Boulder, Colorado 80309, USA*

²*Department of Physics, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309, USA*

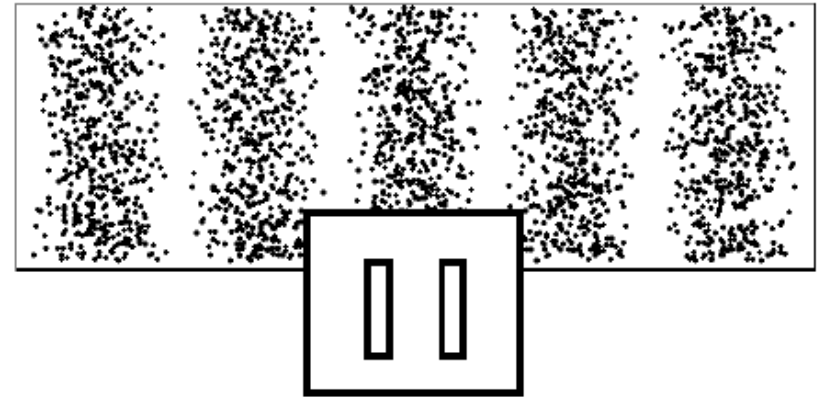
³*Department of Physics, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada V6T 1Z1*

(Received 12 July 2010; published 10 November 2010)

The Quantum Mechanics Conceptual Survey (QMCS) is a 12-question survey of students' conceptual understanding of quantum mechanics. It is intended to be used to measure the relative effectiveness of different instructional methods in modern physics courses. In this paper, we describe the design and validation of the survey, a process that included observations of students, a review of previous literature and textbooks and syllabi, faculty and student interviews, and statistical analysis. We also discuss issues in the development of specific questions, which may be useful both for instructors who wish to use the QMCS in their classes and for researchers who wish to conduct further research of student understanding of quantum mechanics. The QMCS has been most thoroughly tested in, and is most appropriate for assessment of (as a posttest only), sophomore-level modern physics courses. We also describe testing with students in junior quantum courses and graduate quantum courses, from which we conclude that the QMCS may be appropriate for assessing junior quantum courses, but is not appropriate for assessing graduate courses. One surprising result of our faculty interviews is a lack of faculty consensus on what topics should be taught in modern physics, which has made designing a test that is valued by a majority of physics faculty more difficult than expected.

O que dizem as pesquisas

12. You shoot a beam of photons through a pair of slits at a screen. The beam is so weak that the photons arrive at the screen one at a time, but eventually they build up an interference pattern, as shown in the picture at right. What can you say about which slit any particular photon went through?



- A. Each photon went through either the left slit or the right slit. If we had a good enough detector, we could determine which one without changing the interference pattern.
- B. Each photon went through either the left slit or the right slit, but it is fundamentally impossible to determine which one.
- C. Each photon went through both slits. If we had a good enough detector, we could measure a photon in both places at once.
- ✓ D. Each photon went through both slits. If we had a good enough detector, we could measure a photon going through one slit or the other, but this would destroy the interference pattern.
- E. It is impossible to determine whether the photon went through one slit or both.

O que dizem as pesquisas

In interviews: Many students [undergraduate] state answer D almost verbatim even before reading the options, so it accurately reflects the way that students think about this question.

McKagan et *al.*

Respostas dos Professores-alunos de uma turma do MNPEF

Respostas	A	B	C	D	E	Sem resp.
# alunos	-	3	1	3	4	1



O que dizem as pesquisas

Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education

K. Krijtenburg-Lewerissa,¹ H. J. Pol,¹ A. Brinkman,² and W. R. van Joolingen³

¹*ELAN Institute for Teacher Training, University of Twente, 7500 AE Enschede, Netherlands*

²*MESA+ Institute for Nanotechnology, University of Twente, 7500 AE Enschede, Netherlands*

³*Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education,
University of Utrecht, 3508 AD Utrecht, Netherlands*

(Received 9 September 2016; published 17 February 2017)

This study presents a review of the current state of research on teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. A conceptual approach to quantum mechanics is being implemented in more and more introductory physics courses around the world. Because of the differences between the conceptual nature of quantum mechanics and classical physics, research on misconceptions, testing, and teaching strategies for introductory quantum mechanics is needed. For this review, 74 articles were selected and analyzed for the misconceptions, research tools, teaching strategies, and multimedia applications investigated. Outcomes were categorized according to their contribution to the various subtopics of quantum mechanics. Analysis shows that students have difficulty relating quantum physics to physical reality. It also shows that the teaching of complex quantum behavior, such as time dependence, superposition, and the measurement problem, has barely been investigated for the secondary and lower undergraduate level. At the secondary school level, this article shows a need to investigate student difficulties concerning wave functions and potential wells. Investigation of research tools shows the necessity for the development of assessment tools for secondary and lower undergraduate education, which cover all major topics and are suitable for statistical analysis. Furthermore, this article shows the existence of very diverse ideas concerning teaching strategies for quantum mechanics and a lack of research into which strategies promote understanding. This article underlines the need for more empirical research into student difficulties, teaching strategies, activities, and research tools intended for a conceptual approach for quantum mechanics.

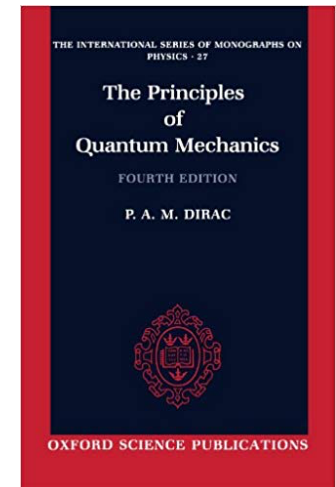
O que dizem as pesquisas

- ✓ ◆ ênfase em interpretações influencia as perspectivas dos alunos da graduação;
- X ◆ ênfase no desenvolvimento e das diferenças entre vários modelos atômicos pode resultar numa melhor compreensão das perspectivas dos alunos da graduação;
- X ◆ abordagem conceitual não matemática pode levar ao entendimento para alunos da graduação e do ensino médio;
- ✓ ◆ aprendizagem ativa contribui para a compreensão dos conceitos da mecânica quântica;
- ✓ ◆ alunos tendem a apresentar o modo de pensar clássico, que levam a interpretações equivocadas de conceitos quânticos, e a uma mistura de física clássica e física quântica.

Lições de Dirac

The Principles of Quantum Mechanics (1a. ed. 1930 – 4a. ed. 1958)

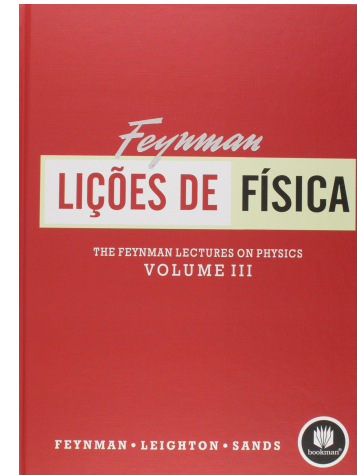
- ◆ ...”Foi possível estabelecer um novo esquema, chamado de mecânica quântica, que é mais adequado para a descrição de fenômenos em escala atômica e que, em alguns aspectos, é mais elegante e satisfatório que o esquema clássico.”
- ◆ Princípio da superposição (“A superposição que ocorre na mecânica quântica é de natureza essencialmente diferente daquela que ocorre na teoria clássica”)
- ◆ Conceito de estado (condição de um sistema físico em um dado momento);
- ◆ Abordagem simbólica e abstrata;
- ◆ Analogia com a teoria clássica (parênteses de Poisson levando às relações de comutação)
- ◆ Princípio da complementaridade não é mencionado, ao contrário do papel relevante que Heisenberg atribui em *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie* cujo objetivo foi disseminar o “espírito de Copenhague da teoria quântica. A dualidade onda-partícula não fazia parte de seu modo de pensar (“eu não gosto nada disso”);
- ◆ O objetivo de Dirac era estabelecer a mecânica quântica sobre uma base logicamente satisfatória e adequada para cálculos.



Lições de Feynman (inspirado em Dirac)

Lições de Física

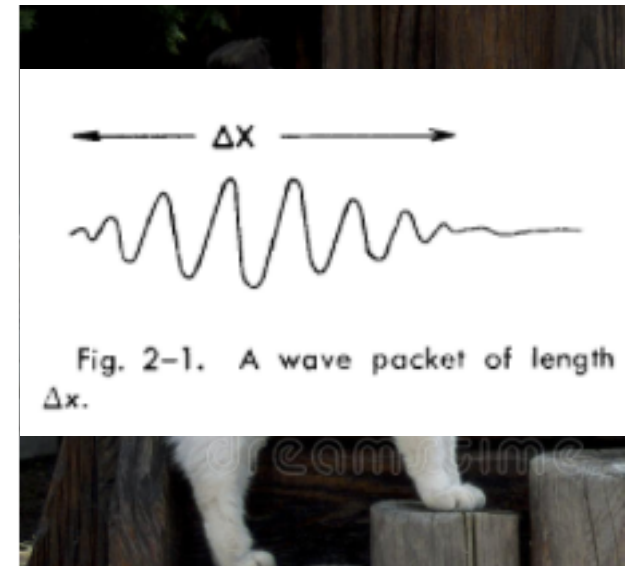
- ◆ Experimento pedagógico: “as chamadas “partes avançadas” da mecânica quântica são de fato muito simples. A matemática necessária é particularmente simples sem equações diferenciais ou no máximo as mais simples delas.”
- ◆ Duas maneiras de apresentar: a) de forma imprecisa sem dar as leis precisas; b) dar as leis em suas formas abstratas. Busca de um meio satisfatório entre dois extremos.
- ◆ Abordagem:
 - Amplitudes de probabilidade (discute o padrão de interferências da dupla fenda)
 - Notação de Dirac
 - Aparato de Stern-Gerlach (“descrever um fenômeno quântico de uma maneira completamente quântica”) – Sakurai. McIntyre, Styer, Cohen, et al.
 - Sistema de dois níveis
 - Evolução temporal (maser de amônia)



Um novo olhar

- ◆ Nem ondas nem partículas: objetos quânticos são **quântons** (Bunge)
- ◆ Um quânton é a unidade da quântica (Leblond)

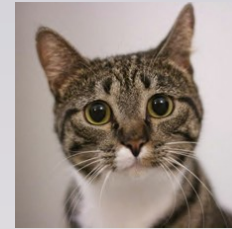
	Number	Extension
Particles	discrete	discrete
Fields	continuous	continuous
Quantons	discrete	continuous



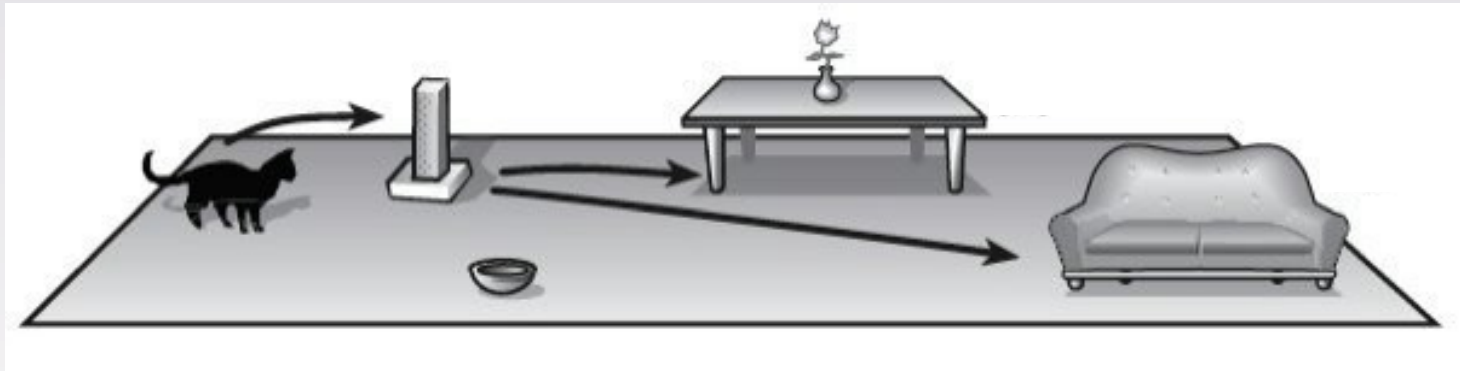
“This double nature of quantons (not a contradictory one, since discreteness and continuity do not refer to the same notions) is the **very lesson of quantum physics**”

Jean Marc Lévy Lebond

Simple example: Miss Kitty,
a two-state system (“qubit”)



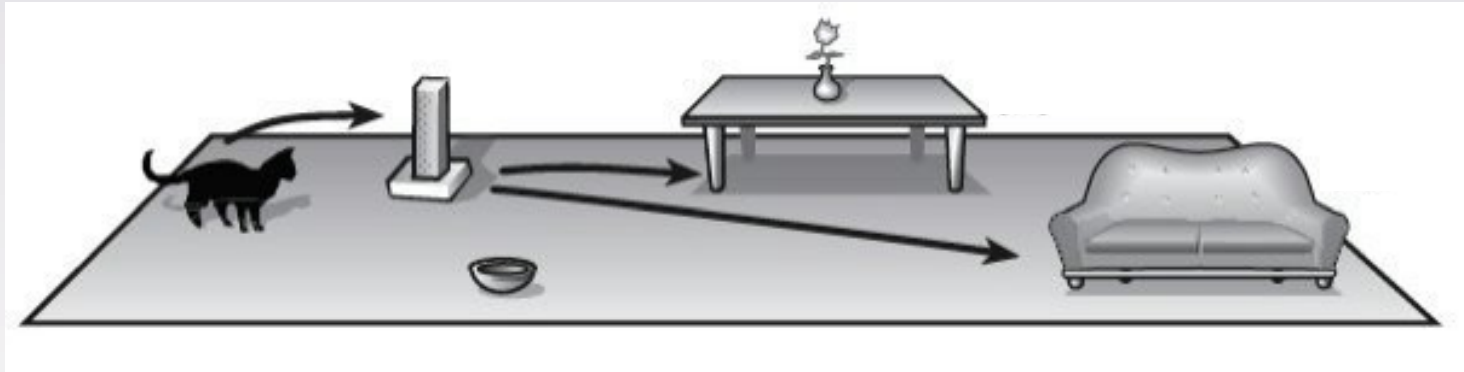
When we look for Miss Kitty, we only ever find her
under the table, or on the sofa.



Her wave function might give us a 50% chance of finding
her under the table, 50% of finding her on the sofa.

Classically: Miss Kitty is either under the table or on the sofa, we just don't know which one.

Quantum mechanics: she is actually in a **superposition** of both possibilities, until we look.

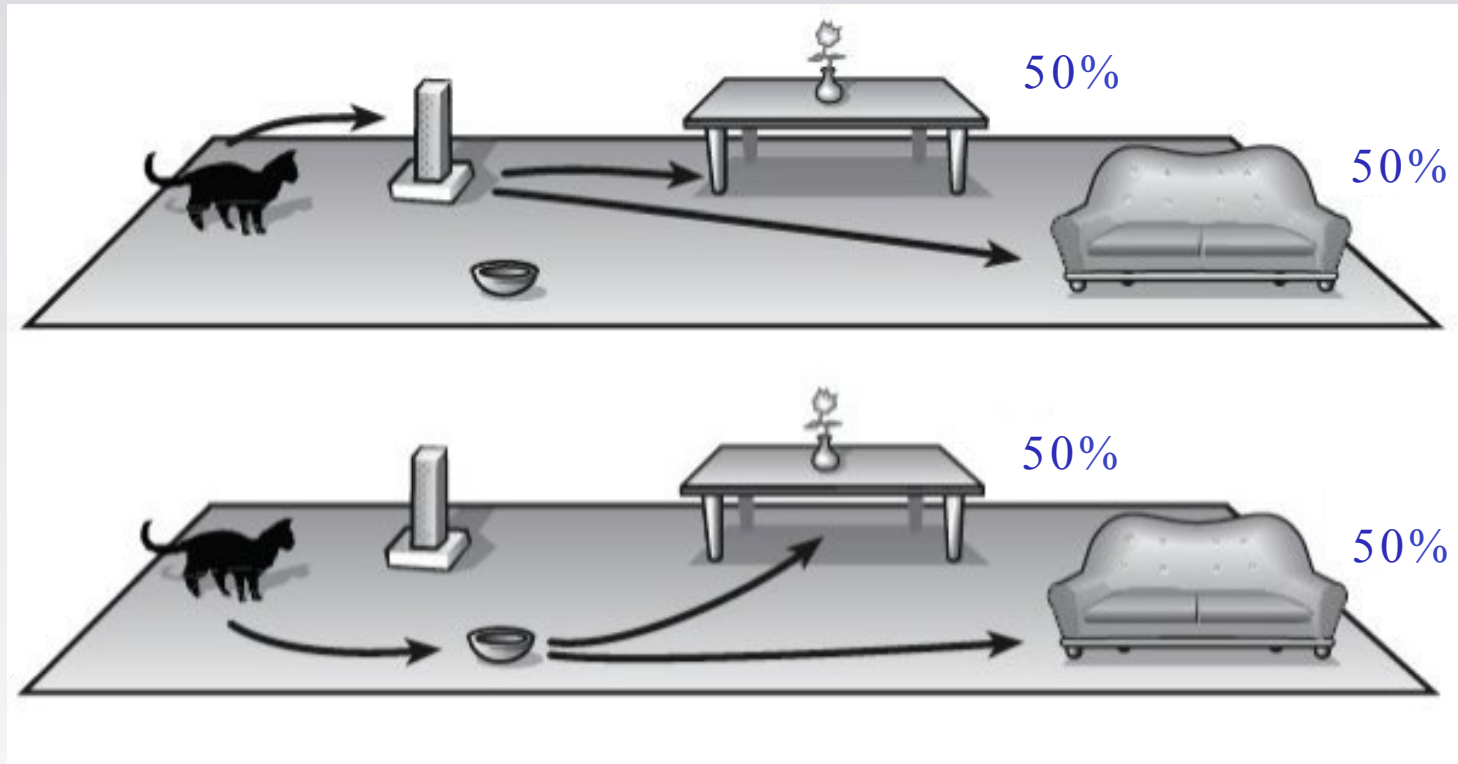


Reason why: **interference**.

Interference

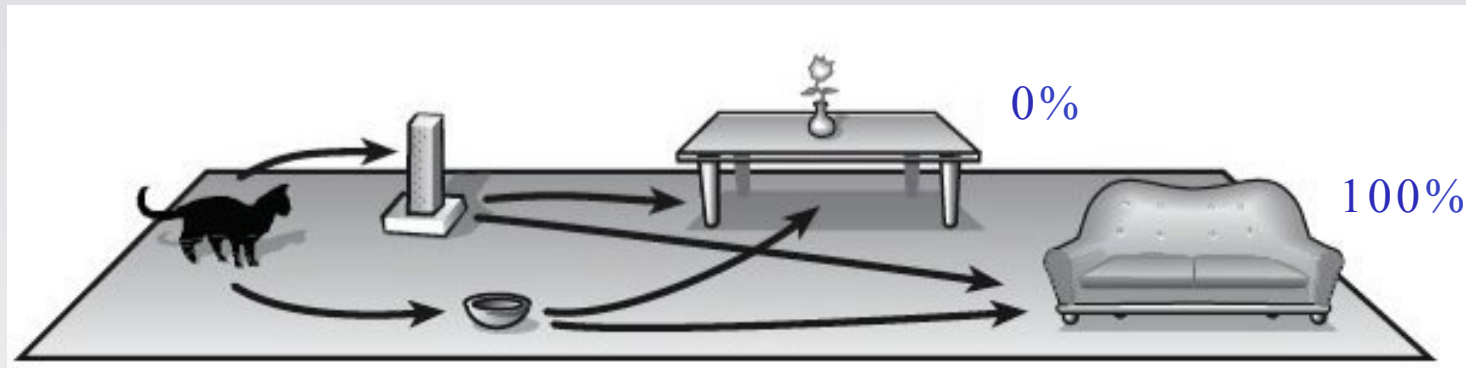
Cortesia: Sean Carroll

Imagine that **we see Miss Kitty** stop by either her food bowl or her scratching post on the way to the table or sofa.



Either way, we find a 50/50 chance to see her on the table or the sofa at the end of her journey.

But sometimes we don't watch. She goes by either her food bowl or scratching post, we don't know which.

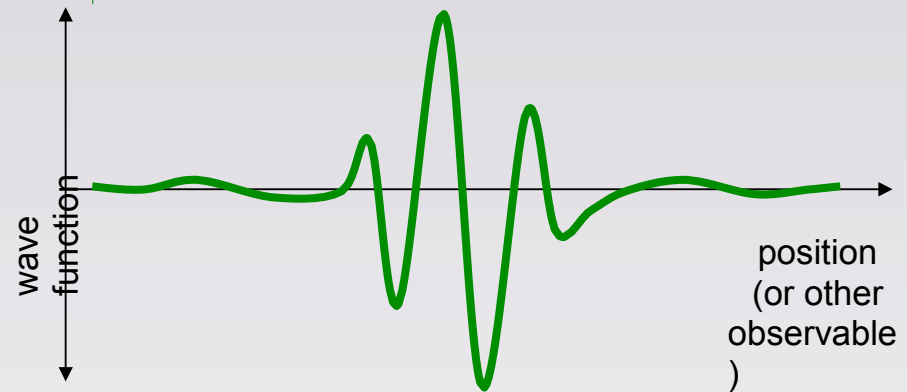


In that case, it turns out we **always find her ending up on the sofa**, never under the table!

What's going on?

The wave function tells us the probability,
but it's not equal to the probability.

- For every possible observable outcome, the wave function has a value.



- Wave functions can be positive or negative*. Different contributions to the wave function can therefore either reinforce, or cancel each other out.
- Probability of observing an outcome = (wave function)².

* More precisely: wave functions are complex numbers, $\psi = a + ib$, and the probability is given by $|\psi|^2 = a^2 + b^2$.

I.2 ON THE QUANTUM MECHANICS OF COLLISIONS

[Preliminary communication][†]

MAX BORN

1926

[†] This report was originally intended for *die Naturwissenschaften*, but could not be accepted there for lack of space. I hope that its publication in this journal [*Zeitschrift für Physik*] does not seem out of place [M.B.].

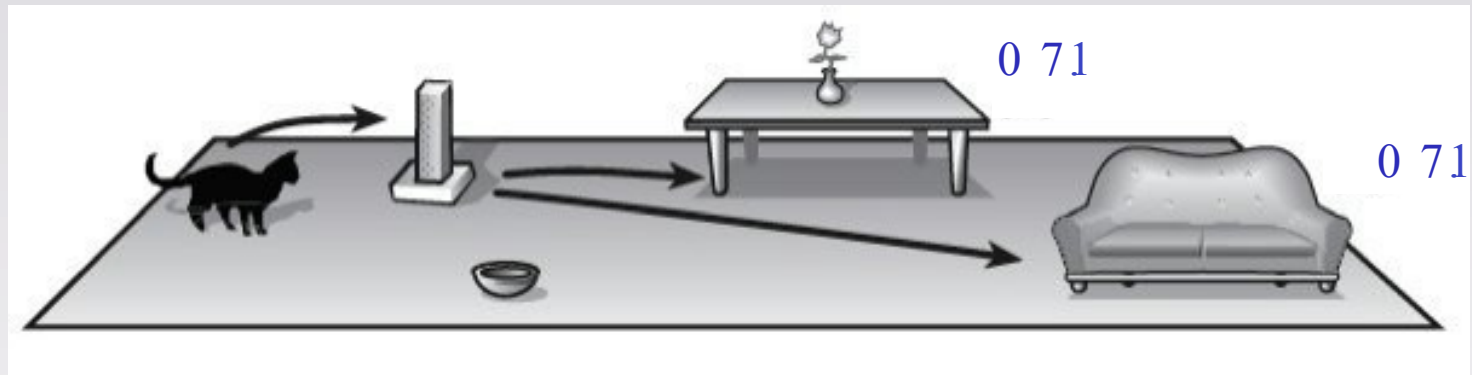
If one translates this result into terms of particles, only one interpretation is possible. $\Phi_{n,m}(\alpha, \beta, \gamma)$ gives the probability* for the electron, arriving from the z -direction, to be thrown out into the direction designated by the angles α, β, γ , with the phase change δ . Here its energy τ has increased by one quantum $h\nu_{nm}^0$ at the

* Addition in proof: More careful consideration shows that the probability is proportional to the square of the quantity $\Phi_{n,m}$.



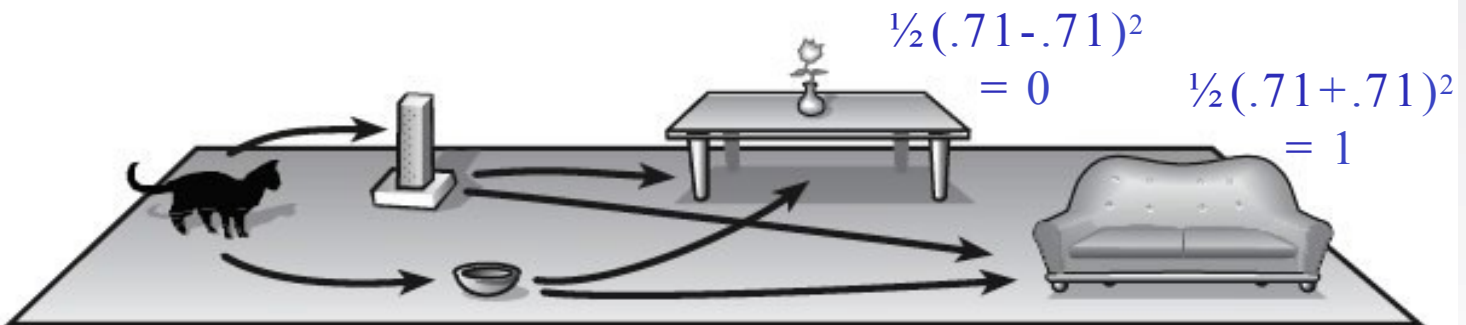
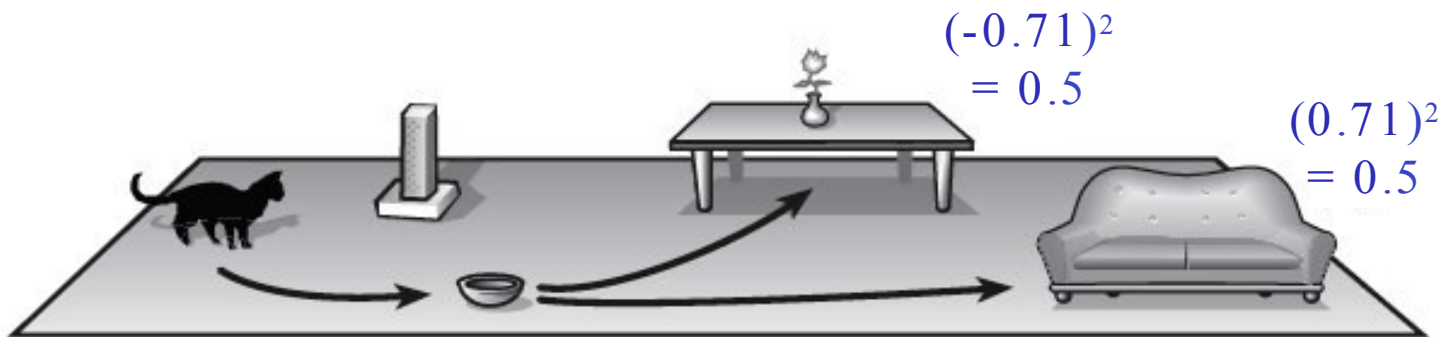
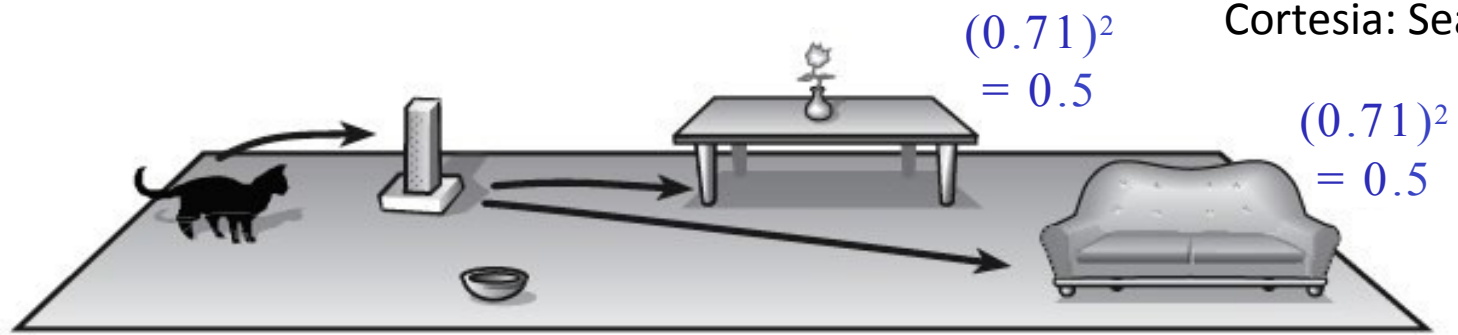
The Nobel Prize in Physics 1954 was divided equally between Max Born "for his fundamental research in quantum mechanics, especially for his statistical interpretation of the wavefunction" and Walther Bothe "for the coincidence method and his discoveries made therewith".

So if the wave function for Miss Kitty to be under the table is 0.71, the probability of finding her there is $(0.71)^2 = 0.50$, or 50%.



But, crucially, if the wave function had been -0.71 , we would have the same probability, since $(-0.71)^2 = 0.50$ also.

That's what happened in our interference experiment.



Interference is at the heart of quantum mechanics.

Proposta

- ◆ Discussão de conceitos fundamentais:
 - Estados do sistema
 - Vetores de estado (notação de Dirac); observáveis (matrizes)
 - Ênfase em sistemas de dois níveis (spin 1/2, qubits)
 - Superposição de estados
 - Natureza estatística: Amplitudes de probabilidade - regra de Born
 - Princípio da **indeterminação** de Heisenberg
 - Interferência, emaranhamento, descoerência
 - Evolução temporal do estado físico (determinístico)
 -
 - Interpretações da física quântica

Proposta

◆ Aplicações

- Soluções simples da equação de Schrödinger: Ex: Estrutura eletrônica de átomos, moléculas e sólidos a partir do modelo de poço quadrado
- Computação quântica
- Informação quântica



◆ Experimentos recentes

- Gato de Schrödinger
- Emaranhamento
- Tunelamento (microscópios)

◆ Ensino

- Metodologias ativas
- Uso intensivo de objetos de aprendizagem: vídeos do You tube, simulações (Phet), games;
- Pesquisa na internet (wikipedia)



Conclusões

- ◆ Ensino de quântica é importante em todos os níveis
- ✓ Começamos com a hipótese de que qualquer disciplina poderá ser eficazmente numa qualquer forma intelectualmente honesta a crianças de qualquer estágio de desenvolvimento;
- ✓ A experiência das últimas décadas aponta para o fato de que nossas escolas possam estar desperdiçando anos preciosos, adiando o ensino de muitas disciplinas importantes, com a justificação de que são demasiadamente difíceis.

Jerome S. BRUNER “The Process of Education”



<https://www.youtube.com/watch?v=HHuT1IKG76w>

Conclusões

- ◆ Incentivo a propostas alternativas para ensinagem de quântica em diferentes contextos

“Quantum Mechanics is not a finished system, I think. So it is healthy that there are diverse ways of teaching it. I think it would be a catastrophe if everyone taught it the same way.”

David Griffiths



<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=livros>

Conclusões

◆ Ensino de tópicos atuais da quântica

✓ Internet quântica

China launched a 2,000-kilometer quantum fiber link connecting Beijing and Shanghai on Friday, allowing unhackable communication between the cities.

China Daily – 30/09/2017



“This begins a new era of international quantum communication”

Anton Zeilinger

http://usa.chinadaily.com.cn/china/2017-09/30/content_32669867.htm

Conclusões

◆ Ensino de tópicos atuais da quântica

✓ Informação e computação quântica



<https://www.youtube.com/watch?v=T2DXrs0OpHU>

Conclusões

◆ Ensino de tópicos atuais da quântica

✓ Computação quântica

Homenagem a
Feynman

REVISTA BRASILEIRA DE
**ENSINO DE
FÍSICA**

Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 40, nº 4, e4306 (2018)
www.scielo.br/rbef
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0038>

Artigos Gerais



Licença Creative Commons

Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits

A pedagogical proposal for teaching quantum computing using a 5-qubit processor

Wilson R. M. Rabelo^{*1}, Maria Lúcia M. Costa²

¹Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, PA, Brasil

²Universidade Federal do Pará, Faculdade de Física, Belém, PA, Brasil

Conclusões

◆ Ensino de tópicos atuais da quântica

Outubro de 2018

✓ Teleporte quântico



Teleporte de uma partícula: um protocolo no contexto do ensino médio

Matheus Pereira Lobo, Sue Lam Rhâmidda Pereira Gomes
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
Universidade Federal do Tocantins

Ednalva Alves de Alencar, Caio Matheus Fontinele dos Santos
Acadêmicos de Licenciatura em Física
Universidade Federal do Tocantins

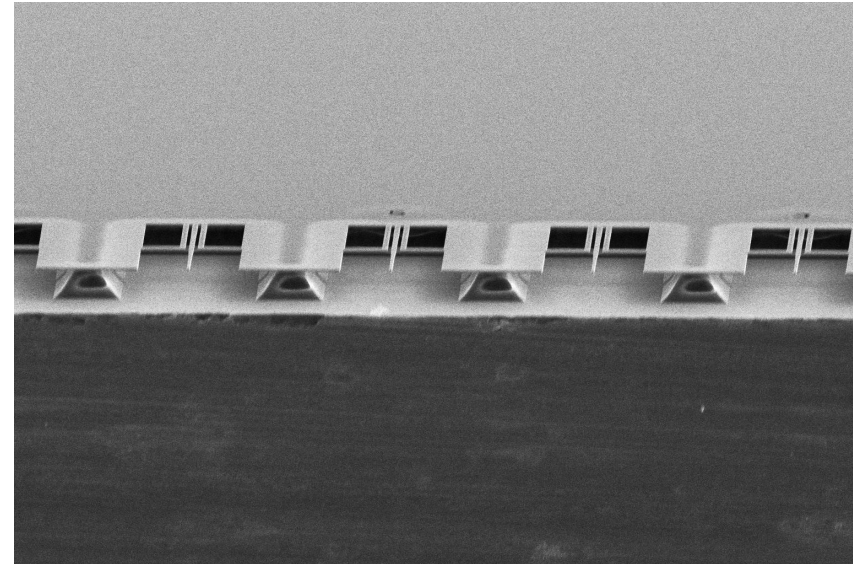


Neste trabalho propomos a realização teórica do teleporte quântico de uma partícula por meio de cálculos envolvendo equações com duas variáveis (x e y). Demonstramos a importância do emaranhamento – que é fundamental para o teleporte – a partir de um protocolo envolvendo três partículas. O objetivo é proporcionar aos professores e estudantes do ensino médio uma forma didática de compreender o tema, integrando a visão qualitativa com os procedimentos matemáticos. Os pré-requisitos incluem números complexos, propriedade distributiva, igualdade de polinômios e produto de matrizes. Com isso, acreditamos poder inserir temas avançados de Física Contemporânea a partir de ferramentas matemáticas presentes no cotidiano escolar dos estudantes do ensino médio.

Conclusões

◆ Ensino de tópicos atuais da quântica

✓ Gato de Schrödinger



Gröblacher Lab – Delf - These 10-micrometer-long silicon beams were used to create a quantum-mechanical combination of nearly macroscopic objects

<https://www.quantamagazine.org/real-life-schrodingers-cats-probe-the-boundary-of-the-quantum-world-20180625/>

Conclusões

- ◆ Mais pesquisa em como ensinar quântica
- ◆ Capacitação de professores
- ◆ Desenvolvimento de produtos educacionais
- ◆ Implementação em sala de aula



**VALEU
GALERA!**

n.studart@gmail.com