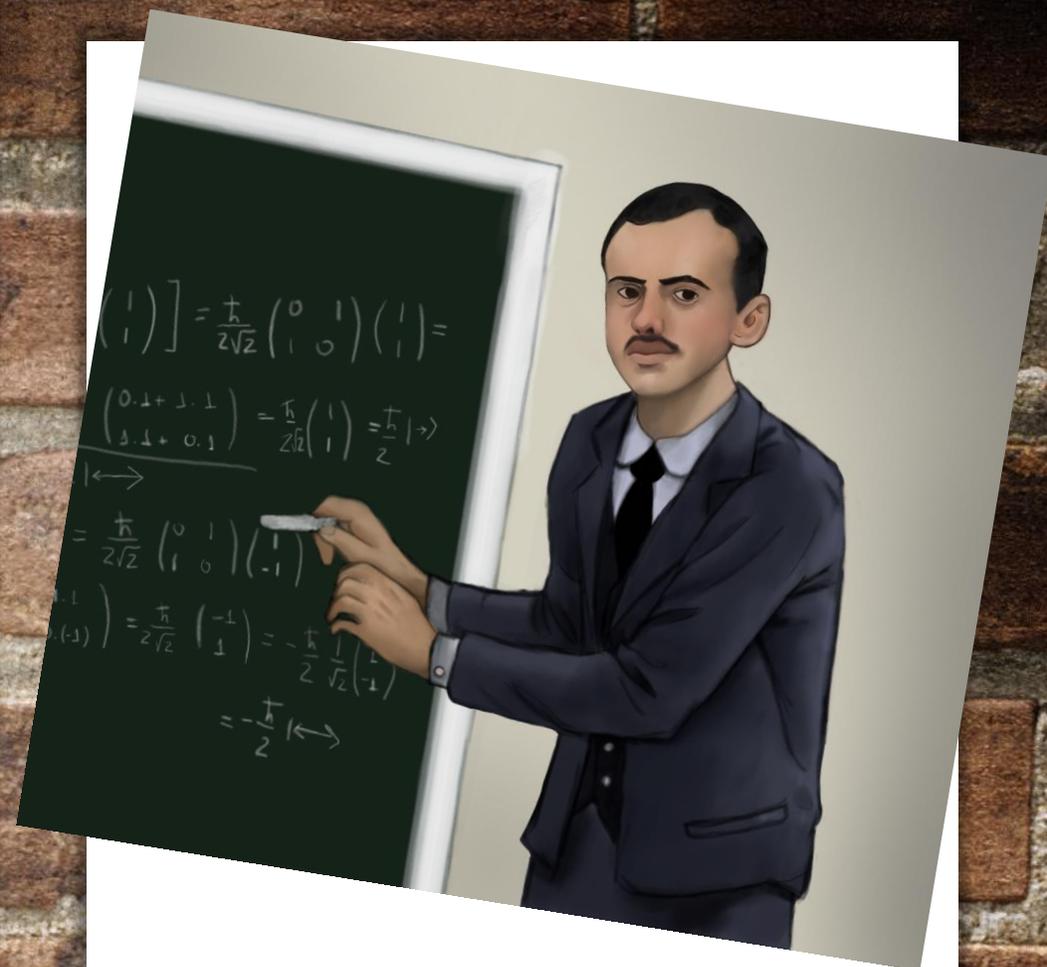
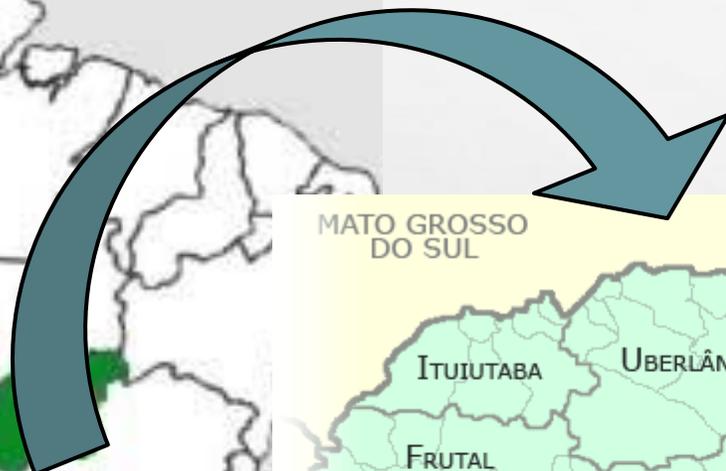
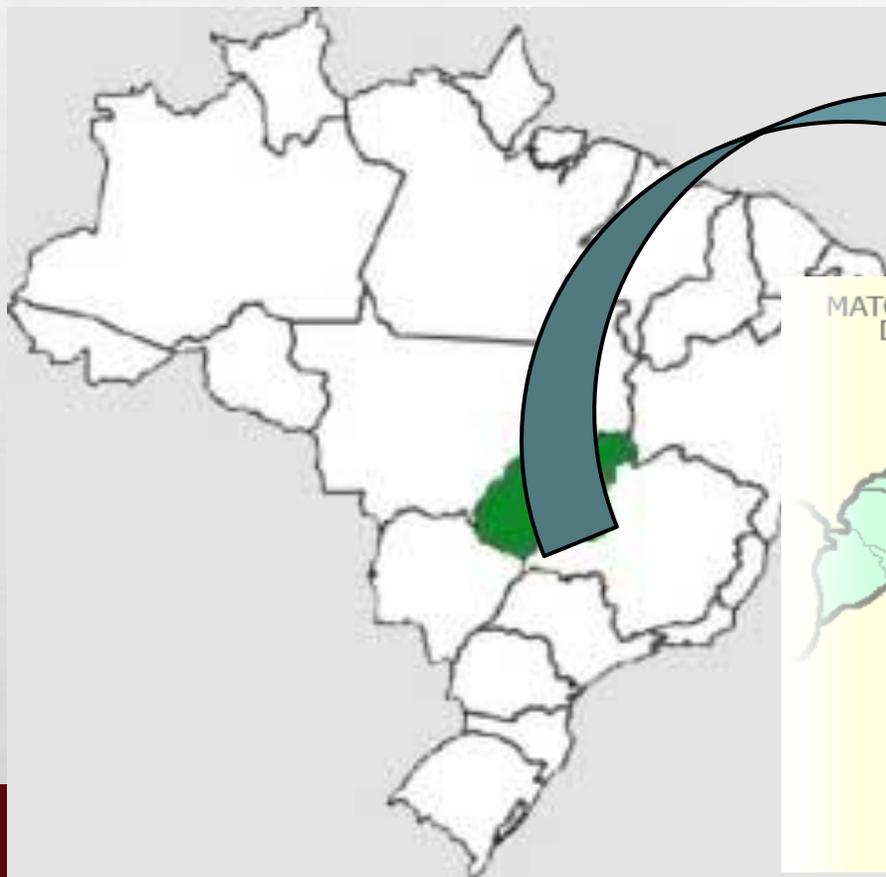


UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO



DÉBORA COIMBRA
debora.coimbra@ufu.br

QUEM SOMOS?



Samia Dantas

- Graduação em Física
- Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática



Arinaldo de Oliveira

- Graduação em Física, Matemática e Estatística
- Mestrado em Matemática

SUMÁRIO

- **POR QUE ENSINAR FÍSICA QUÂNTICA NO EM?**
- **O QUE ENSINAR?**
- **COMO?**
- **NOSSA PROPOSTA**
- **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

POR QUE ENSINAR FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO?

- ATUALIZAÇÃO E INOVAÇÃO CURRICULAR
- DIREITO DO ALUNO À APRENDIZAGEM: FÍSICA QUÂNTICA (MUNDO MICROSCÓPICO) É TÃO BÁSICA QUANTO A FÍSICA CLÁSSICA (MUNDO MACROSCÓPICO)
- PREVENÇÃO CONTRA A PSEUDOCIÊNCIA: MISTICISMO QUÂNTICO, CURA QUÂNTICA, SAL QUÂNTICO, COACH
- ELETRÔNICA MODERNA
- COMPUTADORES E CELULARES; LASERS; LEDS NANOTECNOLOGIA
- IMAGEAMENTO, NMR, PET, LASERS
- TELECOMUNICAÇÕES
- GPS
- INTERNET QUÂNTICA
- ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA OS FENÔMENOS MICROSCÓPICOS: RACIOCÍNIO MATEMÁTICO COMO ESTRUTURANTE DOS MODELOS FÍSICOS



Vagas de Empregos

16 h · 🌐

Professor de Física

Docente será responsável por desenvolver conteúdo EAD (Ensino a distância) para Universidade.

Disciplina a ser desenvolvida:

· Física Quântica aplicada ao Coach

Tipo de vaga: Freelancer/ Autônomo

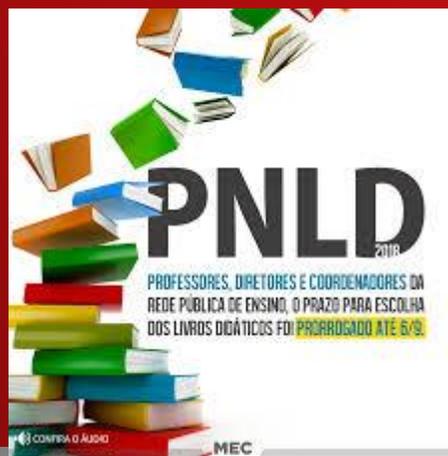
Interessados encaminhar o CV para:
denise.mariano@dpcontent.com.br /
contato.professor@dpcontent.com.br

Vagas
ARROMBADAS



vagasVTNC

FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO



Nos currículos: física moderna e contemporânea

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?”

O QUE DIZEM AS PESQUISAS

- Ênfase na interpretação influencia as perspectivas dos alunos da graduação;
- Ênfase no desenvolvimento e das diferenças entre vários modelos atômicos pode resultar numa melhor compreensão das perspectivas dos alunos da graduação;
- Abordagem conceitual 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.

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 ENSINAR?

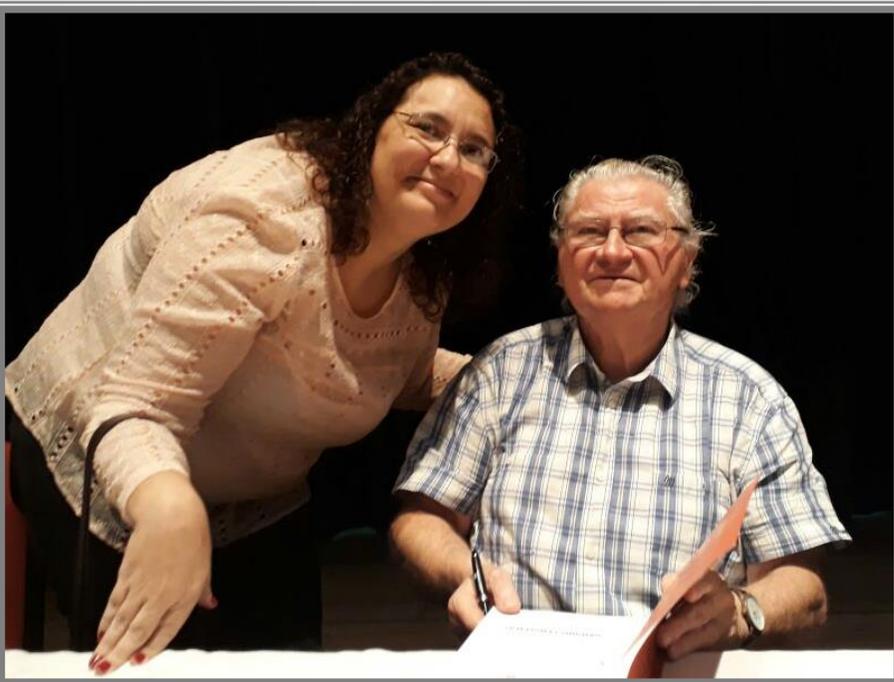
- Discussão de conceitos fundamentais:
 - Estados do sistema
 - Vetores de estado (notação de Dirac); observáveis (matrizes)
 - Ênfase em sistemas de dois níveis (spin 1/2, qubits)
 - Superposição de estados
 - Natureza estatística: amplitudes de probabilidade - regra de Born
 - Princípio da indeterminação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





COMO?

- **PRINCÍPIOS DE DESIGN (MEHEUT & PSILLOS, 2004):**
 - **EPISTEMOLÓGICO:**
 - **Realismo de Mario Bunge**
 - **Quântons são unidades discretas e extensas (Jean-Marc Levy Leblond)**



COMO?

- **PRINCÍPIO PSICOCOGNITIVO:**
 - **TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE GERARD VERGNAUD**
 - **SITUAÇÕES**
 - **FORMA OPERATÓRIA E FORMA PREDICATIVA DOS CONCEITOS**
 - **ESQUEMAS: REGRAS DE AÇÃO E DE CONTROLE EM SITUAÇÃO**
 - **ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS**
 - **INVARIANTES OPERATÓRIOS**
 - **OPERAÇÕES DE PENSAMENTO**
 - **REPRESENTAÇÕES**
 - **TABELAS, GRÁFICOS; ORGANOGRAMAS; EQUAÇÕES**

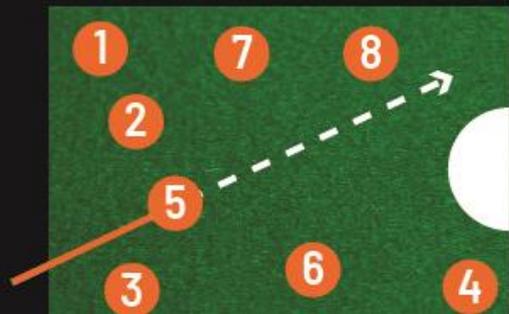


3 bits clássicos. Cada bit vale 0 ou 1



Estados possíveis de 3 bits (8 estados no total)

000	001	010	011
100	101	110	111

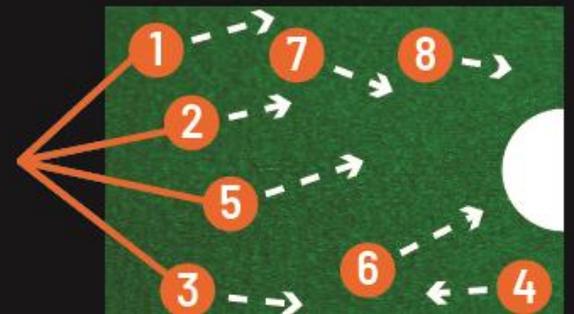


3 bits quânticos. Cada q-bit pode representar 0 e 1 ao mesmo tempo.



0 estado de 3 q-bits pode representar os 8 estados clássicos simultaneamente

111	001	000	110
010	100	101	011



NOSSA PROPOSTA

Bits × Qubits

Superposição

Experimentos:

Stern Gerlach

Dupla Fenda

Formalismo (números complexos e matrizes)

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

	Materiais e Atividades
1	Exibição do vídeo da "Quantum computer experts explain" da IBM (6:12), realização do Exercício 1 da <u>Atividade 1</u>. Explicar o que é base binária e realização do Exercício 2. Apresentar o recorte do <u>The Fabric of Cosmos</u> do minuto 44:30 até 48:55 e explicar o que é o estado superposto em conformidade com a figura 1.1
2	Executar a Atividade 2: <u>Experimento de Stern e Gerlach</u> – simulação PhET, na sala de informática.
3	<u>Jogo Qbit com dado</u>
4	Estudo Dirigido: princípio da superposição, representação matricial dos autoestados. Como representamos uma medida e o que é uma medida nessa representação? Exercícios com matrizes: adição e produto
5	Discussão do experimento de <u>dupla fenda</u>. Acesso ao vídeo de Hitachi e aula dialogada. Exibição de trecho do The Fabric of Cosmos. Explicação do experimento em termos das amplitudes de probabilidade e números complexos.
6	Sistematização da teoria: Postulados e reinterpretação dos experimentos. Repensando os computadores quânticos. Exercícios: números complexos e matrizes.
7	Avaliação Individual Escrita.



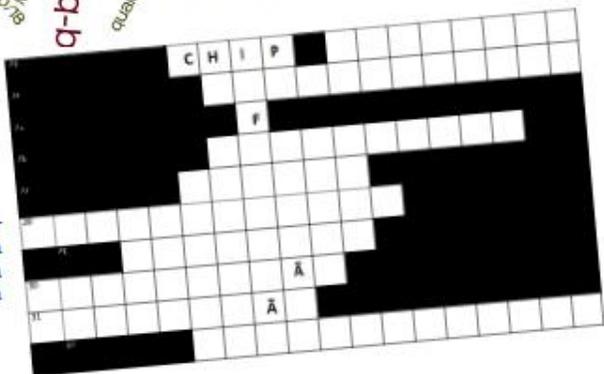


A miniaturização do cérebro eletrônico: o computador quântico

Em novembro de 2017, a gigante da COMPUTAÇÃO IBM anunciou a CONSTRUÇÃO de um chip contendo 50 UNIDADES de INFORMAÇÃO quântica (50 q-bits), cuja capacidade de PROCESAMENTO é muito maior que a de qualquer computador da atualidade. Em março de 2018, a Google também divulgou sua VERSÃO de CHIP QUÂNTICO contendo 72 q-bits. O INVESTIMENTO de grandes empresas nessa nova tecnologia pode promover, em poucos anos, uma profunda REVOLUÇÃO no CONHECIMENTO. Como funcionam essas MÁQUINAS? E para que elas servem? (adaptado de Oliveira, et al. *Ciência Hoje*, julho de 2018).



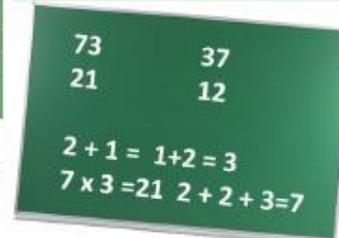
1. Complete o diagrama utilizando as palavras que aparecem destacadas no texto. Por que uma das palavras (além do nome da revista) está em negrito?



2. Na primeira tabela, as colunas **D** representam um número decimal associado à letra que se deseja representar, as colunas **B** trazem a representação desse na base 2 e as colunas **BITS** mostram como os mesmos seriam representados por 5 bits. Complete a Tabela seguindo o modelo, depois use os códigos das colunas **BITS** para identificar a palavra ao lado.

	D	B	BITS		D	B	BITS
A	1	2 ⁰	00001	N	14		
B	2	2 ¹	00010	O	15		
C	3	2 ⁰ + 2 ¹	00011	P	16	2 ⁴	
D	4	2 ²	00100	Q	17		
E	5		00101	R	18		
F	6			S	19		
G	7			T	20		
H	8	2 ³	01000	U	21		
I	9			V	22		
J	10			W	23		
K	11			X	24		
L	12			Y	25		
M	13	2 ³ + 2 ² + 2 ⁰		Z	26	2 ⁴ + 2 ³ + 2 ¹	11010

BITS	DECIMAL	LETRA
10001		
10101		
00001		
01110		
10100		
01001		
00011		
00001		



3. Escreva os palíndromos na base decimal: 1001001 ___
10101 ___
111 ___
11 ___

Superposição

A grande capacidade de processamento de um computador quântico está baseada no princípio da superposição, segundo o qual os sistemas quânticos podem assumir múltiplos estados simultaneamente, como representado na Figura 1.1. Isso permite que um computador quântico analise bilhões de possibilidades ao mesmo tempo.

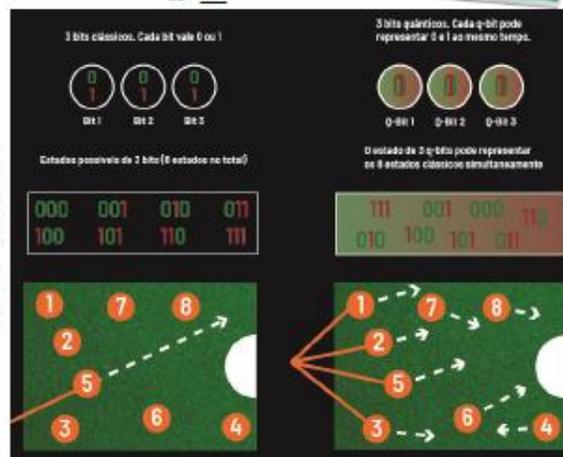


Figura 1.1 Possíveis estados do computador clássico (inferior à esquerda) e do quântico (direita). Fonte: extraído de Oliveira, et al. *Ciência Hoje*, julho/18.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

	Materiais e Atividades
1	Exibição do vídeo da "Quantum computer experts explain" da IBM (6:12), realização do Exercício 1 da <u>Atividade 1</u>. Explicar o que é base binária e realização do Exercício 2. Apresentar o recorte do <u>The Fabric of Cosmos</u> do minuto 44:30 até 48:55 e explicar o que é o estado superposto em conformidade com a figura 1.1
2	Executar a Atividade 2: <u>Experimento de Stern e Gerlach</u> – simulação PhET, na sala de informática.
3	<u>Jogo Qbit com dado</u>
4	Estudo Dirigido: princípio da superposição, representação matricial dos autoestados. Como representamos uma medida e o que é uma medida nessa representação? Exercícios com matrizes: adição e produto
5	Discussão do experimento de <u>dupla fenda</u>. Acesso ao vídeo de Hitachi e aula dialogada. Exibição de trecho do The Fabric of Cosmos. Explicação do experimento em termos das amplitudes de probabilidade e números complexos.
6	Sistematização da teoria: Postulados e reinterpretação dos experimentos. Repensando os computadores quânticos. Exercícios: números complexos e matrizes.
7	Avaliação Individual Escrita.



The Fabric Of The Cosmos - Quantum Leap Legendado PT

Pressione para sair do modo tela cheia



O TECIDO DO COSMOS: SALTO QUÂNTICO BRIAN GREENE

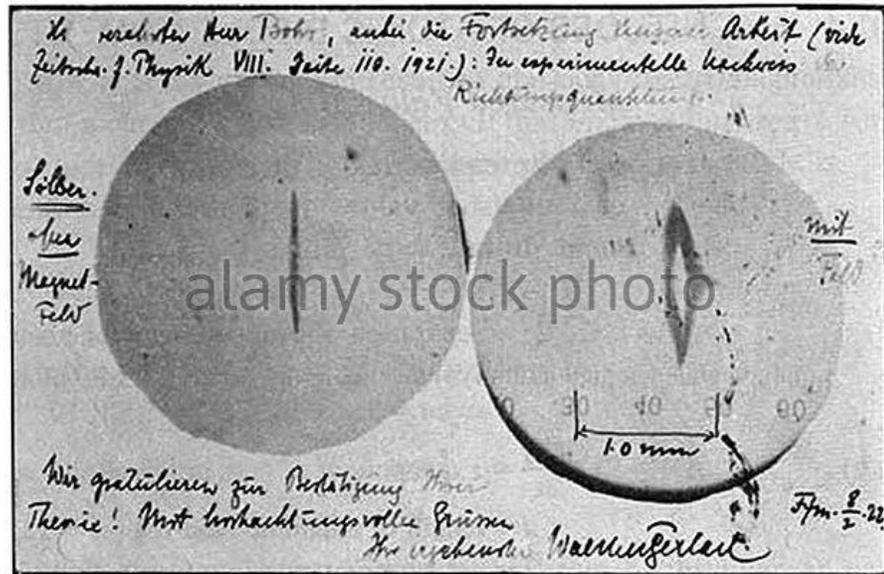
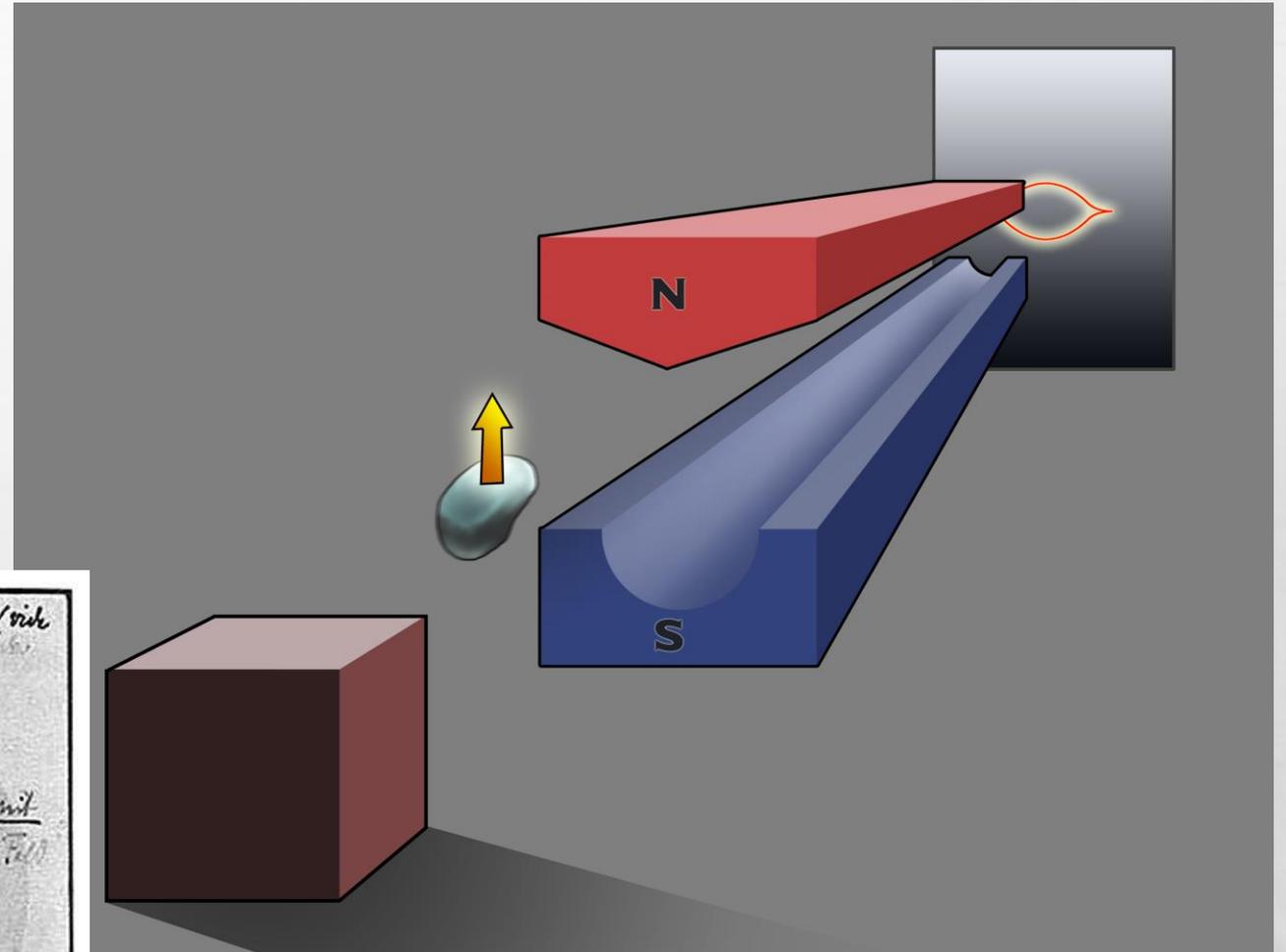
<https://www.youtube.com/watch?v=zjq7vjslq6k>

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

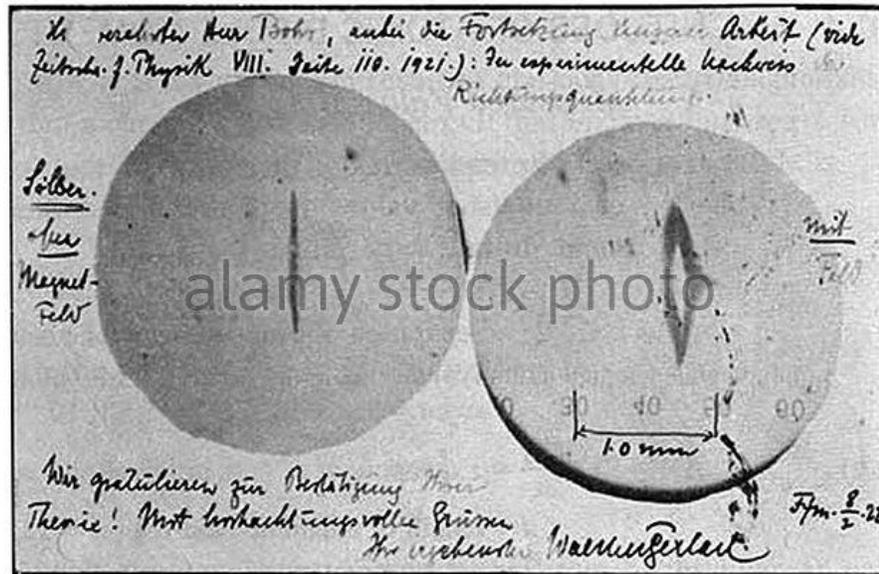
	Materiais e Atividades
1	Exibição do vídeo da "Quantum computer experts explain" da IBM (6:12), realização do Exercício 1 da <u>Atividade 1</u>. Explicar o que é base binária e realização do Exercício 2. Apresentar o recorte do <u>The Fabric of Cosmos</u> do minuto 44:30 até 48:55 e explicar o que é o estado superposto em conformidade com a figura 1.1
2	Executar a Atividade 2: <u>Experimento de Stern e Gerlach</u> – simulação PhET, na sala de informática.
3	<u>Jogo Qbit com dado</u>
4	Estudo Dirigido: princípio da superposição, representação matricial dos autoestados. Como representamos uma medida e o que é uma medida nessa representação? Exercícios com matrizes: adição e produto
5	Discussão do experimento de <u>dupla fenda</u>. Acesso ao vídeo de Hitachi e aula dialogada. Exibição de trecho do The Fabric of Cosmos. Explicação do experimento em termos das amplitudes de probabilidade e números complexos.
6	Sistematização da teoria: Postulados e reinterpretação dos experimentos. Repensando os computadores quânticos. Exercícios: números complexos e matrizes.
7	Avaliação Individual Escrita.



EXPERIMENTO DE STERN E GERLACH



EXPERIMENTO DE STERN E GERLACH



Sobre...

Experimento de Stern-Gerlach

número de ímãs: 1 2 3

Reiniciar

ângulo: up down

Disparar

Auto-disparo: ligado desligado

lento rápido

Reiniciar contador

orientação do spin: +z ↑ +x ← -z ↓ xz aleatório

Som

PhET

https://phet.colorado.edu/sims/stern-gerlach/stern-gerlach_pt_BR.html

3 Experimento de Stern e Gerlach



Figura 3.1: Placa memorial em homenagem a Otto Stern (laureado com o prêmio Nobel de Física de 1943) e Walther Gerlach defronte ao Centro de Física Experimental Stern-Gerlach da Universidade de Frankfurt, Alemanha (a 8 km do laboratório original). Placa descerrada em fevereiro de 2002.

Na presença de um campo magnético, o átomo de prata como um todo pode ser representado pelo spin do seu 47º elétron e a interação com o campo magnético muda a direção da trajetória do feixe. Como resultado, átomos que deixam o forno com o spin “para cima” são depositados na parte inferior da placa de vidro detectora e átomos que deixam o forno com o spin “para baixo” ficam impressos na parte superior da placa.

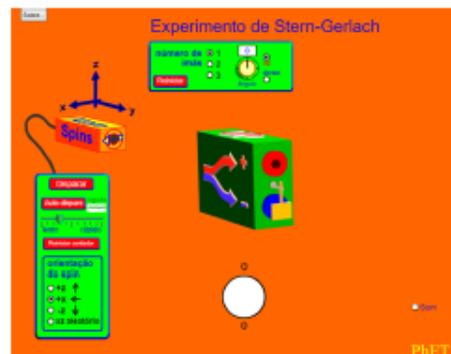


Figura 3.2

A Figura 3.2 mostra um postal enviado em 08 de fevereiro de 1922 por W. Gerlach a Niels Bohr, que mostra uma foto da prata depositada na placa de vidro, após uma revelação fotográfica, para os casos sem (esquerda) e com campo magnético (direita). Vamos executar a simulação disponível em https://phet.colorado.edu/sims/stern-gerlach/stern-gerlach_pt_BR.html conforme o roteiro na sequência.

¹A prata é um metal macio e flexível, com ponto de fusão 961,8°C (relativamente baixo quando comparado ao de outros metais) e número atômico igual a 47. Por seu brilho intenso e facilidade de ser moldado, integra a economia de civilizações desde 3000 a.C. e, em forma de sais, foi fundamental nos primórdios da história da fotografia.

Executando a simulação:

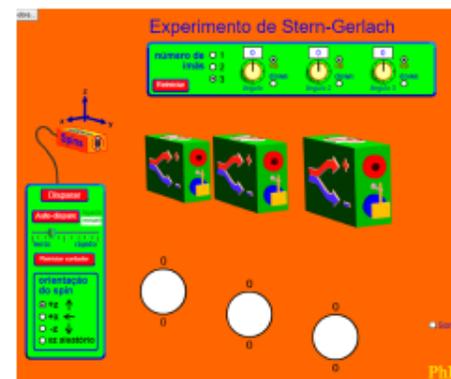
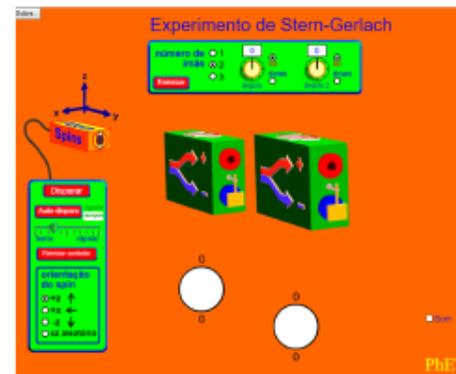


3. À direita, na caixa que contém o menu “número de ímãs”, há um espaço no qual você pode incluir ângulos de rotação para o ímã, coloque 90° e verifique o que acontece para todas as possibilidades do menu “orientação de spin”. Anote os resultados obtidos.

4. Escolha a opção 2 no menu “número de ímãs” e a opção +z no menu “orientação de spin”. O que você espera que aconteça ao pressionar a tecla disparar algumas vezes? Pressione a tecla, verificando sua previsão e anote o observado.

5. O que você espera que seja observado nos resultados se a inclinação do segundo ímã for alterada?

6. Com a opção 2 no menu “número de ímãs”, observe e anote o que acontece mantendo o primeiro ímã sem inclinação (0°) e o segundo ímã a 90°.



7. Escolha a opção 3 no menu “número de ímãs” e a opção +z no menu “orientação de spin”. Escreva o que você espera que seja observado nos resultados se apenas a inclinação do segundo ímã for alterada?

8. Com a opção 3 no menu “número de ímãs”, observe e anote o que acontece mantendo o primeiro e o terceiro ímã sem inclinação (0°) e o segundo ímã a 90°.

9. Escolha outras opções de inclinação para os ímãs e de orientação de spin e faça uma tabela organizando as observações de acordo com as opções selecionadas.



Uma medida realizada num sistema físico é matematicamente representada pela aplicação de um operador a um autoestado desse sistema. Essa operação resulta num autovalor e no próprio autoestado

$$S_x = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$S_y = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

$$S_x S_y - S_y S_x = i\hbar S_z$$

$$\widehat{S}_z |\uparrow\rangle = \frac{\hbar}{2} |\uparrow\rangle \quad \widehat{S}_z |\downarrow\rangle = -\frac{\hbar}{2} |\downarrow\rangle$$

$$|\uparrow\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |\downarrow\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\widehat{S}_x |\rightarrow\rangle = \frac{\hbar}{2} |\rightarrow\rangle \quad \widehat{S}_x |\leftarrow\rangle = -\frac{\hbar}{2} |\leftarrow\rangle \quad |\rightarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dados dois estados admissíveis de um sistema quântico, então, a combinação linear desses dois estados também é um estado admissível do sistema

$$|\uparrow\rangle = a|\rightarrow\rangle + b|\leftarrow\rangle$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{a}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \frac{b}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Se duas grandezas são representadas por operadores que não comutam, as mesmas não podem ser conhecidas **simultaneamente** com precisão.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

	Materiais e Atividades
1	Exibição do vídeo da "Quantum computer experts explain" da IBM (6:12), realização do Exercício 1 da <u>Atividade 1</u>. Explicar o que é base binária e realização do Exercício 2. Apresentar o recorte do <u>The Fabric of Cosmos</u> do minuto 44:30 até 48:55 e explicar o que é o estado superposto em conformidade com a figura 1.1
2	Executar a Atividade 2: <u>Experimento de Stern e Gerlach</u> – simulação PhET, na sala de informática.
3	<u>Jogo Qbit com dado</u>
4	Estudo Dirigido: princípio da superposição, representação matricial dos autoestados. Como representamos uma medida e o que é uma medida nessa representação? Exercícios com matrizes: adição e produto
5	Discussão do experimento de <u>dupla fenda</u>. Acesso ao vídeo de Hitachi e aula dialogada. Exibição de trecho do The Fabric of Cosmos. Explicação do experimento em termos das amplitudes de probabilidade e números complexos.
6	Sistematização da teoria: Postulados e reinterpretação dos experimentos. Repensando os computadores quânticos. Exercícios: números complexos e matrizes.
7	Avaliação Individual Escrita.

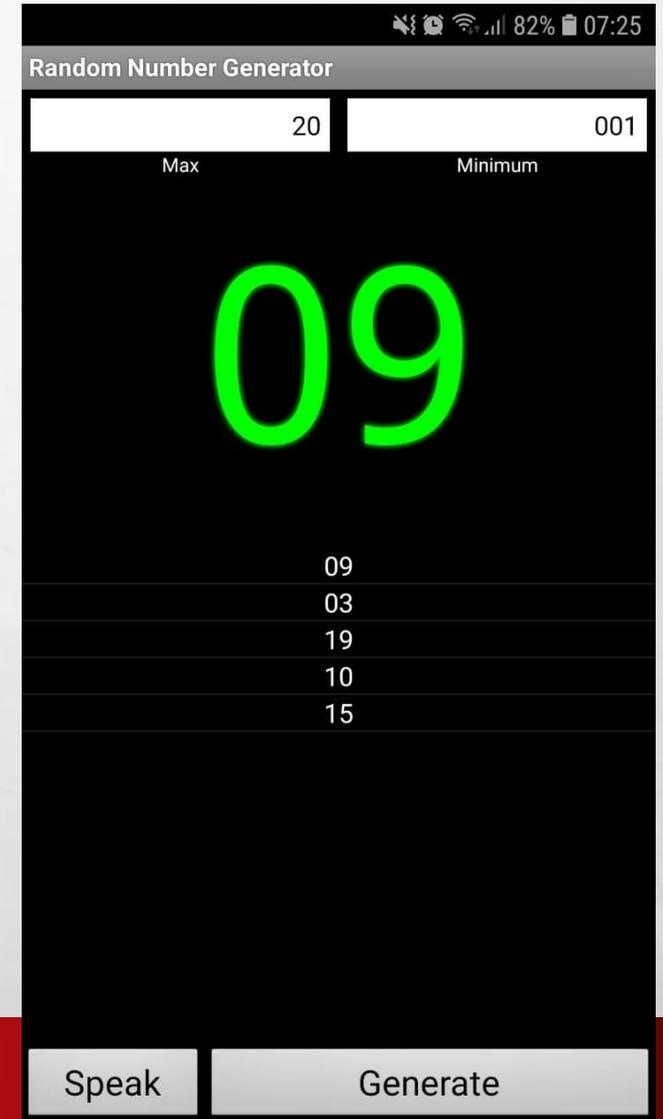
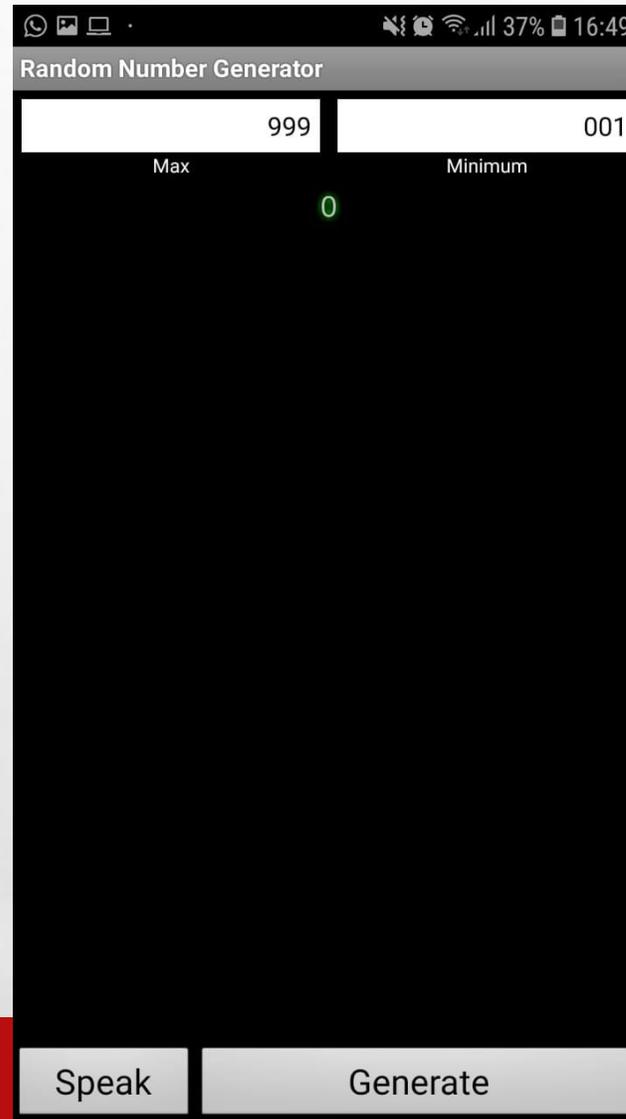


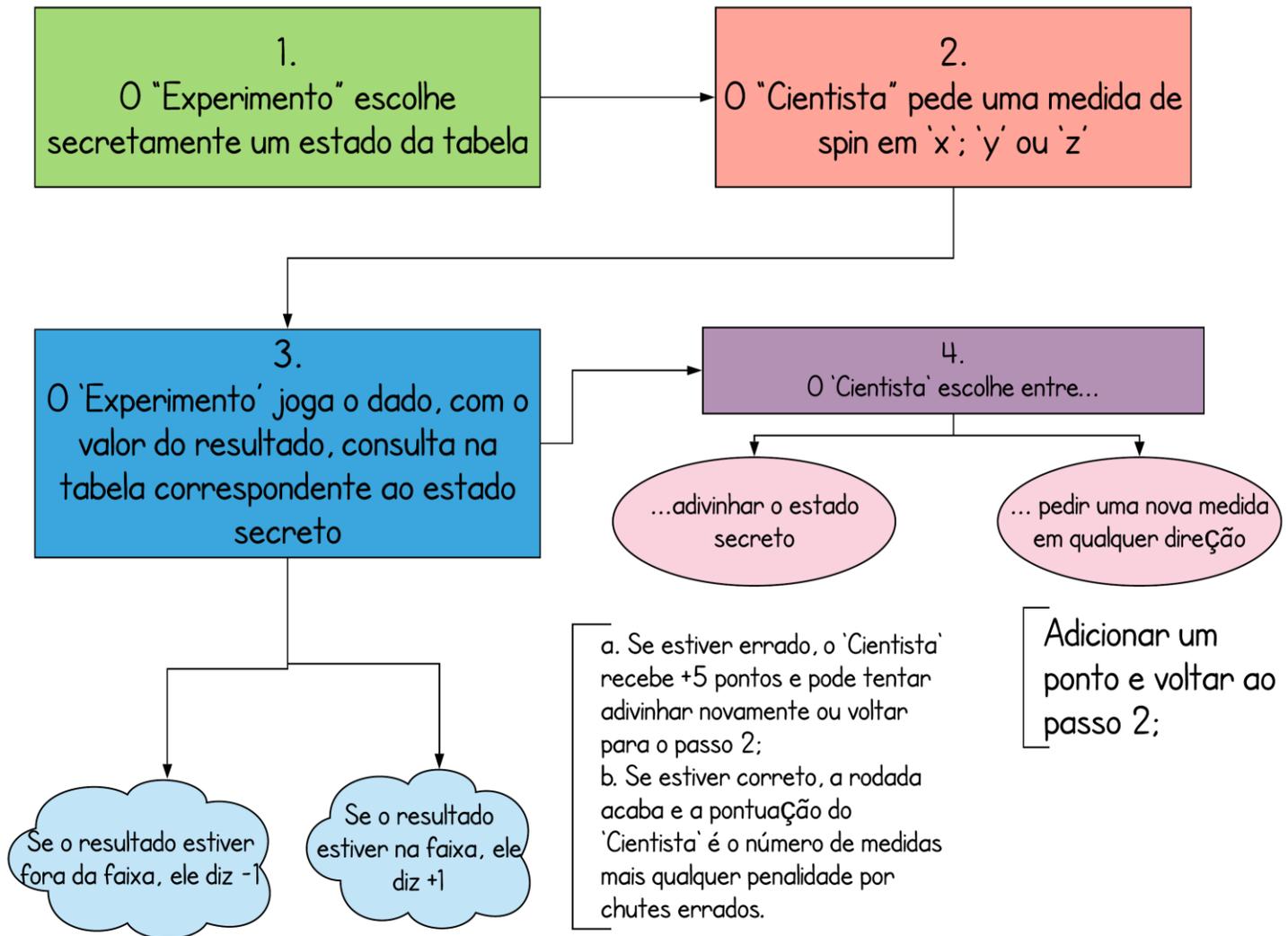
Q-BIT COM DADO

Corcovilos, T.; *American Journal of Physics* 86, 510 (2018); doi: 10.1119/1.5036620

Nome	Estado S	$P^x(+1)$	$P^y(+1)$	$P^z(+1)$
A	(1,0,0)	100 % 1-20	50 % 1-10	50 % 1-10
B	(-1,0,0)	0 % -	50 % 1-10	50 % 1-10
C	(0,1,0)	50 % 1-10	100 % 1-20	50 % 1-10
D	(0,-1,0)	50 % 1-10	0 % -	50 % 1-10
E	(0,0,1)	50 % 1-10	50 % 1-10	100 % 1-20
F	(0,0,-1)	50 % 1-10	50 % 1-10	0 % -

RANDOM NUMBER GENERATOR





O QUE PODEMOS APRENDER?

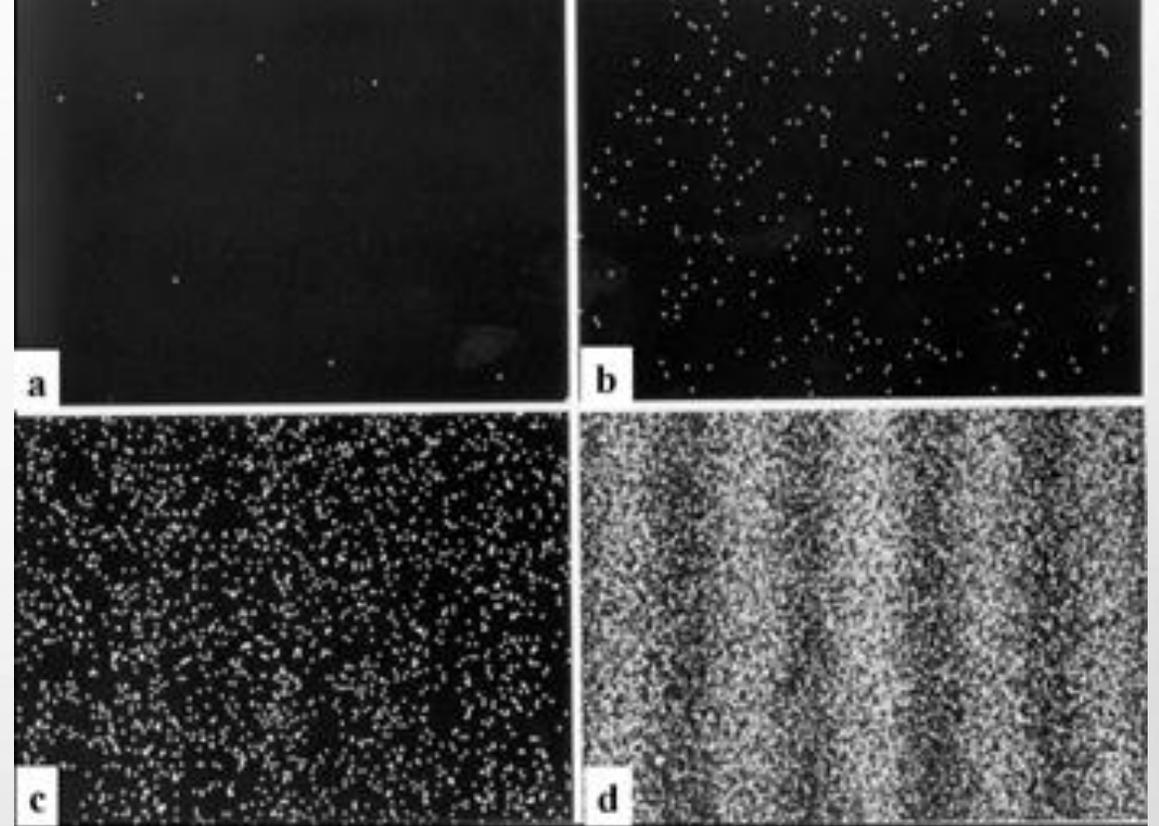
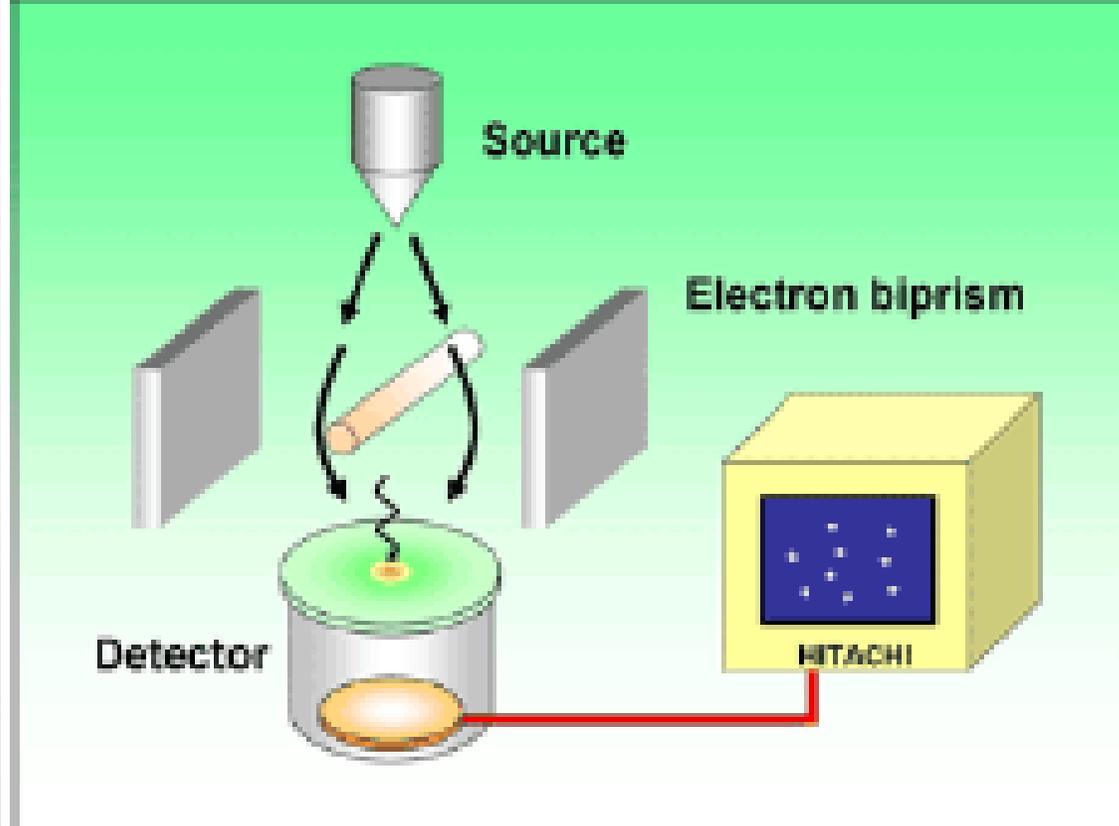
- MEDIDAS QUÂNTICAS INDIVIDUAIS MANIFESTAM UMA NATUREZA PROBABILÍSTICA INTRÍNSECA;
- É NECESSÁRIO UM CONJUNTO DE MEDIDAS DE GRANDEZAS INCOMPATÍVEIS PARA DETERMINAR UM ESTADO QUANTICO ARBITRÁRIO;
- CADA MEDIDA REALIZADA É INDEPEDENTE DA MEDIDA ANTERIOR



SEQUÊNCIA DIDÁTICA

	Materiais e Atividades
1	Exibição do vídeo da "Quantum computer experts explain" da IBM (6:12), realização do Exercício 1 da <u>Atividade 1</u>. Explicar o que é base binária e realização do Exercício 2. Apresentar o recorte do <u>The Fabric of Cosmos</u> do minuto 44:30 até 48:55 e explicar o que é o estado superposto em conformidade com a figura 1.1
2	Executar a Atividade 2: <u>Experimento de Stern e Gerlach</u> – simulação PhET, na sala de informática.
3	<u>Jogo Qbit com dado</u>
4	Estudo Dirigido: princípio da superposição, representação matricial dos autoestados. Como representamos uma medida e o que é uma medida nessa representação? Exercícios com matrizes: adição e produto
5	Discussão do experimento de <u>dupla fenda</u>. Acesso ao vídeo de Hitachi e aula dialogada. Exibição de trecho do The Fabric of Cosmos. Explicação do experimento em termos das amplitudes de probabilidade e números complexos.
6	Sistematização da teoria: Postulados e reinterpretação dos experimentos. Repensando os computadores quânticos. Exercícios: números complexos e matrizes.
7	Avaliação Individual Escrita.





EXPERIMENTO DE DUPLA FENDA

- <http://www.hitachi.com/rd/portal/highlight/quantum/doubleslit/index.html>



É POSSÍVEL ENSINAR QUÂNTICA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO?

- É – DESDE QUE SE TENHA DOMÍNIO DO CONTEÚDO, MATERIAIS ADEQUADOS E UMA METODOLOGIA QUE FAVOREÇA A APRENDIZAGEM

OS ALUNOS APRENDEM?

- A FORMA OPERATÓRIA COM FACILIDADE; A FORMA PREDICATIVA NEM TANTO...

POR QUE A GENTE NÃO FAZ?

FORMAÇÃO DE PROFESSORES

PULVERIZAR

**MUITO OBRIGADA!
¡MUCHAS GRACIAS!
THANK YOU!
MERCI BEAUCOUP!**

