
KIT QUANTUM (Q)

Química Quântica:

Laboratório para Alunos do Ensino Médio

Manual do aluno



WOMEN SUPPORTING
WOMEN IN THE SCIENCES

Conheça um Cientista

Esther Jacob

Tarimo

Professora, Escola Secundária Mtinko

Sobre mim:

Comecei a leccionar enquanto cursava o Bacharelato em Educação Secundária e, posteriormente, concluí o Bacharelato em Física e Matemática.



Ainda não era o suficiente para mim, então decidi cursar o Mestrado em Física na Universidade de Dodoma. Meu projecto de dissertação de mestrado se concentrou em estudos de primeiros princípios das propriedades electrónicas, ópticas e elásticas do coríndon de diferentes locais de mineração na Tanzânia. Tenho interesse em pesquisa em física, especialmente no que se refere à computação quântica.

Meu conselho para estudantes interessados em ciências:

- Não se preocupe se não entender tudo de primeira.
- Não tenha medo de questionar as coisas.
- Continue aprendendo, seja paciente e aproveite a jornada.

Declaração de missão

A missão deste laboratório é ensinar alunos do ensino médio (idades entre 12 e 18 anos) sobre átomos e matéria por meio de experimentos e actividades práticas.

Índice

1. Introdução aos kits de laboratório WS2	5
1.1. Informações sobre WS2	5
1.2. Vocabulário-chave.....	5
1.3. Perguntas-chave	6
1.4. Objectivo	6
2. Contexto dos Tópicos Principais	6
2.1. O átomo.....	6
2.2. Pontos quânticos.....	8
2.3. Lista de Suprimentos	10
2.4. Informações de segurança	11
3. Experimentos.....	11
3.1. Parte I. Modelos Atômicos de Doces	11
3.1.1. Perguntas pré-actividade	11
3.1.2. Materiais.....	12
3.1.3. Procedimento e Análise (trabalho em grupos de 2 a 4)	12
3.1.4. Perguntas pós-atividade	13
3.2. Parte II. Pontos Quânticos de Carbono na Cozinha.....	14
3.2.1. Contexto Adicional	14
3.2.2. Questões pré-experimento	14
3.2.3. Materiais.....	15
3.2.4. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	16
3.2.5. Resultados.....	17

3.2.6. Perguntas pós-experimento	18
4. Desafio de Design.....	19
4.1 Questões de Design	19
4.2 Esboço de Design.....	21
5. Fontes.....	22
6. Apêndice.....	23

1. Introdução aos kits de laboratório WS2

1.1. Informações sobre WS2

A Women Supporting Women in the Sciences (WS2), uma organização internacional que une e apoia mulheres de nível de pós-graduação e profissional e aliadas em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM), recebeu um Fundo de Inovação da Sociedade Americana de Física (APS) em 2020 para formar equipes internacionais para projectar e distribuir kits de laboratório de física e ciência dos materiais de baixo custo para alunos do ensino fundamental e médio, predominantemente na África Oriental. Os kits de laboratório utilizaram recursos locais e incluíram tópicos especialmente relevantes para meninas, a fim de estimular seu interesse em disciplinas STEM. De 2020 a 2023, mais de 5.100 alunos da África Oriental em mais de 40 escolas se envolveram com nossos kits de laboratório, sendo 62% meninas.

A WS2 recebeu seu segundo Fundo de Inovação da APS em 2025 para apoiar outra Iniciativa de Kits de Laboratório, desta vez com foco em tópicos quânticos. Para mais informações sobre a WS2, visite nosso site em ws2global.org.

O WS2 é patrocinado pelo Fundo de Inovação da APS, pelo Fórum de Educação da APS, pelo Centro de Pesquisa em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Northwestern e pelo Departamento de Assuntos Estudantis Multiculturais da Universidade Northwestern. O WS2 é extremamente grato aos voluntários responsáveis pelo design do kit de laboratório pelo seu trabalho árduo e aos consultores externos (SciBridge e Projekt Inspire) pela orientação. O WS2 também agradece e reconhece o PhysicsQuest (<https://www.aps.org/initiatives/physics-education/physicsquest>) e o Quantum Explorations Student Toolbox (QuEST) pelos experimentos que serviram de base para o conteúdo do kit de laboratório.

1.2. Vocabulário-chave

- Átomo: a menor unidade de um elemento que retém as propriedades do elemento
- Elétron: partícula subatômica carregada que forma uma "nuvem" ao redor do núcleo do átomo
- Núcleo: centro denso do átomo, constituído por nêutrons e prótons
- Nanopartícula: um material com diâmetro entre 2 e 100 nanômetros (nanômetro é 1×10^{-9} m)

retêm as propriedades do elemento. Os átomos são incrivelmente pequenos e não podem ser vistos a olho nu, mas são extremamente poderosos, pois determinam as propriedades de tudo ao nosso redor, desde cadeiras de metal até o ar que respiramos. A partir do século XIX, os cientistas tentaram descrever o átomo. Em 1808, John Dalton propôs a teoria do modelo atômico, que descrevia os átomos como esferas sólidas, pequenas e indivisíveis. J. J. Thomson baseou-se nesse modelo e, em 1904, propôs o modelo do "pudim de ameixas", que descrevia um átomo como electricamente neutro. Ele disse que o próprio átomo era uma esfera de carga positiva com elétrons negativamente incorporados, como ameixas encontradas dentro de um pudim (semelhante a mirtilos ou outros pedaços de fruta dentro de um bolo ou muffin), e essas cargas opostas se igualavam. Os elétrons, que são extremamente leves, desempenham um papel fundamental na forma como as reações químicas ocorrem e também são os transportadores de electricidade.

O conceito de núcleo atômico surgiu em 1911, quando Ernest Rutherford descreveu átomos com uma densa concentração de carga positiva no centro do átomo, o chamado núcleo. Os elétrons então se movem ao redor do núcleo e o átomo consiste em uma grande quantidade de espaço vazio (Figura 1). Rutherford chegou a essa descrição após realizar o que ficou famoso como o "experimento da folha de ouro" (ver figura 2). Rutherford e sua equipe miraram partículas alfa em uma fina folha de ouro. Com base no modelo de Thomson, foi levantada a hipótese de que essas partículas alfa atravessariam directamente a folha. A maioria dessas partículas atravessava a folha, mas ocasionalmente algumas ricocheteavam. Essa foi uma descoberta notável e levou à famosa citação de Rutherford: "Era quase tão incrível como se você disparasse uma bala de 15 polegadas contra um pedaço de papel de seda e ela voltasse e atingisse você". Essa descoberta levou Rutherford a concluir que os átomos têm um núcleo denso, onde a maior parte de sua massa está concentrada. Agora descrevemos o núcleo como contendo prótons, que são partículas carregadas positivamente que

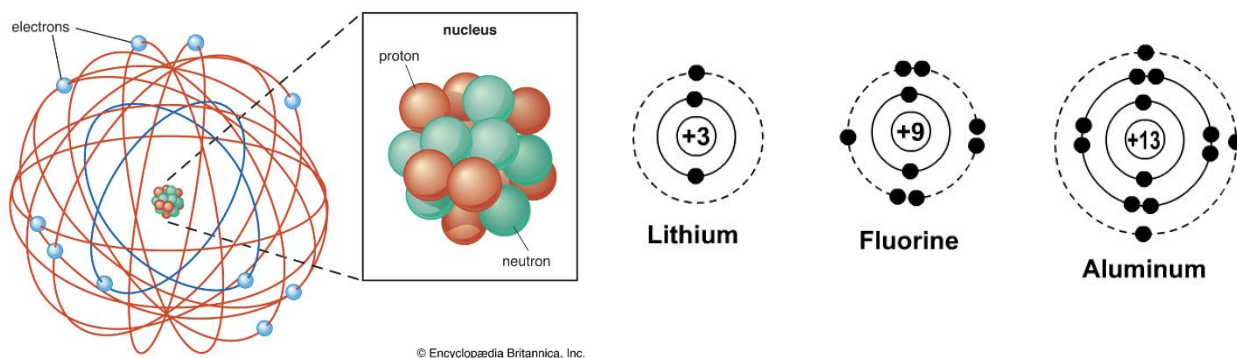


Figura 1. No modelo atômico de Rutherford (à esquerda), o núcleo é uma densa concentração de massa no centro do átomo e há muito espaço vazio. No modelo atômico de Bohr (à direita), os elétrons orbitam o núcleo com órbitas de tamanhos e energias bem definidos. Esta foto, de autor desconhecido, está licenciada sob CC BY-SA-NC.

definem a identidade de um elemento, e nêutrons, que são partículas com não têm carga e têm massa semelhante à dos prótons. Para efeito de comparação, prótons e nêutrons são cerca de 2.000 vezes mais pesados que os elétrons.

Refinamentos adicionais ao modelo atômico envolveram os elétrons. Em 1913, Niels Bohr afirmou que os elétrons orbitam o núcleo, e as órbitas bem definidas têm tamanhos e energias específicos (ver Figura 1), mas isso foi posteriormente aprimorado por Erwin Schrödinger, em 1926, que afirmou que os elétrons são encontrados em nuvens, ou orbitais, ao redor do núcleo, que contém prótons e nêutrons. Os orbitais dos elétrons são áreas com alta probabilidade de conter elétrons. Este modelo do átomo, conhecido como modelo da mecânica quântica, é como ainda descrevemos os átomos hoje.

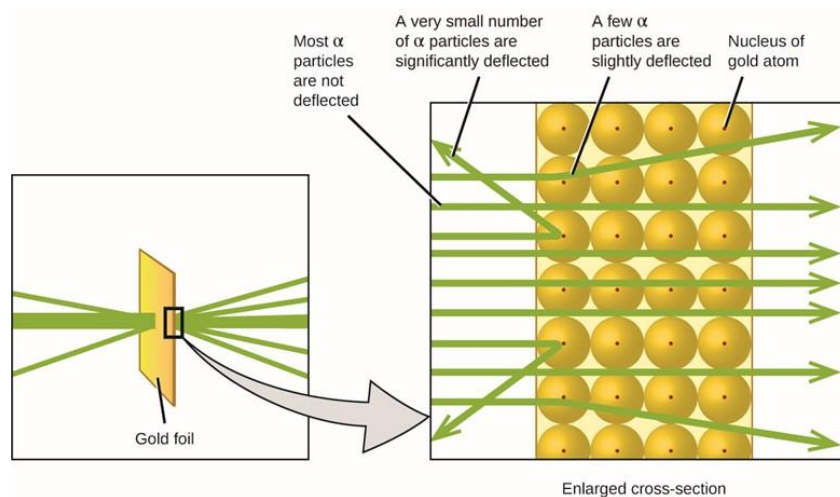


Figura 2. Esquema experimental com folha de ouro. A maioria das partículas alfa atravessou a folha de ouro, mas um número muito pequeno é desviado ao atingir o núcleo denso. Esta foto, de autor desconhecido, está licenciada sob CC BY-SA-NC.

2.2. Pontos quânticos

Átomos podem se ligar para formar entidades muito maiores. Considere a água (H_2O), que é uma molécula que contém três átomos: dois de hidrogênio e um de oxigênio. Mais do que qualquer outro elemento, o carbono tem a capacidade de formar ligações consigo mesmo, o que pode levar a moléculas muito grandes que são predominantemente carbono e hidrogênio, como carboidratos, proteínas e ácidos nucleicos. O carbono também pode se ligar a si mesmo de forma ordenada para formar cristais de carbono. Exemplos de cristais de carbono são grafite e diamante, ambos materiais de carbono puro. Comportamentos interessantes podem surgir quando os cristais de carbono se tornam muito pequenos e são classificados como nanopartículas, que são materiais com diâmetros entre 2 e 100 nanômetros (nanômetro é 1×10^{-9}

m). As nanopartículas podem ser bilhões de vezes menores que o diâmetro de um fio de cabelo! Especificamente, pequenos nanocristais de carbono que normalmente têm tamanhos abaixo de 10 nanômetros são chamados de pontos quânticos de carbono. Os pontos quânticos de carbono (Cdots) foram descobertos no início dos anos 2000 como um subproduto de uma reação e, curiosamente, logo se descobriu que podem ser produzidos a partir de diversas fontes de carbono (até mesmo folhas de plantas!). Os Cdots possuem fluorescência, o que significa que emitem luz ao absorver luz, e essa emissão dura na ordem de nano a microssegundos.

Um aspecto único dos pontos quânticos é que sua emissão fluorescente pode ser "ajustada" simplesmente alterando o tamanho da partícula ou sua composição química. Partículas maiores emitem em comprimentos de onda maiores (mais vermelhos), enquanto partículas menores emitem em comprimentos de onda menores (mais azuis) (ver Figura 3). O sistema se comporta de forma análoga ao modelo introdutório de "partícula em uma caixa" da mecânica quântica. Uma imagem aproximada disso é que, como o tamanho da partícula é aproximadamente comparável ao tamanho do comprimento de onda da luz, a partícula se torna a "caixa" e o sistema se torna "quantizado", ou seja, possui níveis de energia específicos permitidos (isso não é exatamente verdade para os pontos quânticos, que possuem "bandas" de energia amplas em vez de níveis permitidos nítidos, mas as ideias básicas ainda se aplicam). Fornecer energia à partícula pode "excitar" um elétron do estado fundamental para um estado excitado, da mesma forma que fornecer electricidade a uma luz de neon pode excitar os átomos de neon no tubo. Uma vez excitados, os pontos quânticos podem brilhar. A natureza em geral determina que os sistemas preferam estar em seus níveis mais baixos nível de energia (pense em água correndo ladeira abaixo), e uma maneira pela qual os átomos de neon ou Cdots podem se desenergizar é emitindo seu excesso de energia como luz. Os tubos de neon brilham em vermelho porque a energia da luz vermelha corresponde à diferença de energia entre o nível de energia do estado

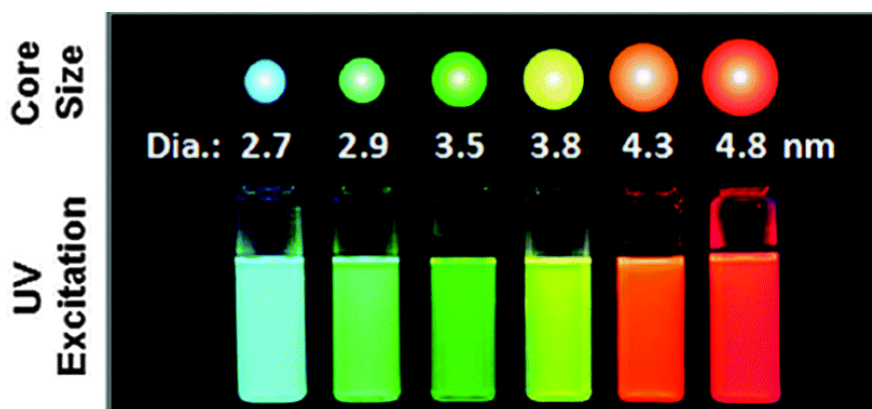


Figura 3. O tamanho dos pontos quânticos está relacionado à cor que eles emitem. Pontos quânticos maiores emitem em comprimentos de onda mais longos (mais vermelhos). Esta foto de autor desconhecido está licenciada sob CC BY-NC.

excitado e o nível do estado inferior (fundamental). Assim como a mudança de gases em lâmpadas de neon altera as cores emitidas, a incorporação de outros átomos nos Cdots pode alterar as características de absorção e emissão. Vale ressaltar que a energia da luz emitida será sempre igual ou menor que a energia de excitação – ou seja, a emissão ocorrerá em comprimentos de onda maiores (azul, verde ou vermelho) do que a luz de maior energia (como ultravioleta) originalmente absorvida.

Curiosamente, algumas moléculas ou nanopartículas excitadas podem não emitir luz visível ou emitir luz por um longo tempo após a excitação ser desligada. No primeiro caso, a energia pode ser emitida como calor (ou seja, luz infravermelha, que não podemos ver). Este último caso será familiar para crianças que já brincaram com brinquedos que brilham no escuro. Lâmpadas de neon param de brilhar quase imediatamente após desligarmos a energia (ou seja, fluorescência), mas os brinquedos que brilham no escuro funcionam por fosforescência, onde a energia fica presa na molécula e "vaza" lentamente, o que significa que a emissão tem uma duração muito maior do que no caso da fluorescência.

2.3. Lista de Suprimentos

- Açúcar
- Água
- Fonte de calor (forno de micro-ondas, chapa eléctrica, fogão, chama)
- Balão de ensaio Pyrex
- Frasco transparente
- Tubos de ensaio (ou pequenos recipientes transparentes para amostras)
- Parafilme (ou filme plástico)
- Fontes de luz (lanterna UV, laser verde, laser vermelho)
- Cotonetes
- Papel
- Suco de limão
- Balas esféricas de três cores (ou bolinhas de papel alumínio comprimidas de três cores)
- Palitos de dente
- Barbante escuro (ou limpadores de cachimbo)
- Marcador

3.1.2. Materiais

- Balas esféricas de três cores (ou bolinhas de papel alumínio/papel comprimido de três cores) (pelo menos 8 de cada por grupo)
- Palitos de dente
- Barbante escuro (ou limpadores de cachimbo)
- Papel
- Caneta hidrográfica

3.1.3. Procedimento e Análise (trabalho em grupos de 2 a 4)

1. Separe doces de cores diferentes (ou crie bolas de papel/alumínio com três cores diferentes).
2. Selecione 8 doces de duas cores cada e use palitos de dente para uni-los formando um núcleo compacto. Coloque esse núcleo sobre um pedaço de papel.
 - a. O que esses dois doces representam? Identifique isso no papel.
3. Use dois pedaços de barbante escuro (ou limpadores de cachimbo) e desenhe círculos concêntricos ao redor do núcleo.
 - a. O que esses círculos representam? Identifique isso no papel.
4. Selecione 8 balas da cor restante e coloque-as nos círculos concêntricos.
 - a. O que esses doces representam? Identifique isso no papel.
5. Agora, coloque 2 balas no círculo interno e 6 no círculo externo. Isso representa como os elétrons preenchem os orbitais mais externos deste elemento (o primeiro nível contém 2 elétrons e o segundo nível contém 6 elétrons, embora

possa conter até 8 elétrons no total). Veja a Figura 4 para um exemplo do modelo do átomo de bala.



Figura 4. Exemplo do modelo do átomo de doce com o núcleo densamente compactado e as órbitas dos elétrons.

3.1.4. Perguntas pós-atividade

1. Qual elemento você modelou nesta atividade? Como você sabe? (Dica: pode ser necessário consultar a tabela periódica – veja o Apêndice)

2. Este átomo estava carregado nesta atividade? Como você sabe?

- a. Pergunta complementar: Como você imaginaria tornar este átomo carregado?
-
3. Quais melhorias adicionais você poderia fazer em seu modelo para representar um átomo de forma mais realista? Considere os outros modelos atômicos que seguiram Rutherford. Experimente essas melhorias e registre suas observações.

3.2. Parte II. Pontos Quânticos de Carbono na Cozinha

Esta seção é baseada na actividade Nanobits Secretos da Cozinha do PhysicsQuest (American Physical Society).

3.2.1. Contexto Adicional

Reações químicas podem converter alimentos comuns em pontos quânticos de carbono (Cdots). Basicamente, o aquecimento de amostras à base de carbono pode fazer com que elas se decomponham e se regenerem em minúsculas nanopartículas de carbono, neste caso, Cdots. Esses materiais são fluorescentes sob certas condições de luz com alta energia, como luz UV e alguns lasers. Uma vez formados, os Cdots podem ser usados em algumas aplicações simples, como a escrita "secreta".

3.2.2. Questões pré-experimento

1. O que são pontos quânticos de carbono (Cdots)?

2. O que é fluorescência?

3. Como o tamanho de um ponto quântico afecta sua fluorescência?

3.2.3. Materials

- Açúcar
- Água
- Suco de limão
- Fonte de calor (forno de micro-ondas, chapa eléctrica, fogão, chama)
- Balão de ensaio Pyrex
- Frasco transparente
- Tubos de ensaio (ou pequenos recipientes transparentes para amostras)
- Parafilme (ou filme plástico)
- Fontes de luz (lanterna UV, laser verde, laser vermelho)
- Cotonetes
- Papel

3.2.4. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)

As seguintes etapas podem ser concluídas em turma e, em seguida, os materiais resultantes podem ser divididos e utilizados por grupos menores:

1. Meça 1 g (~1/4 colher de chá) de açúcar de mesa e coloque em um frasco de vidro Pyrex.
2. Adicione 10 g (10 mL ou 2 colheres de chá) de água ao recipiente. Mexa até que o açúcar esteja completamente dissolvido.
3. Coloque o frasco sobre a fonte de calor por cerca de 10 minutos.
 - a. O tempo pode variar dependendo da fonte de calor. Em um micro-ondas com potência de 40%, 10 minutos é o tempo aproximado.
 - b. O produto deve ter uma cor laranja escura e uma consistência semelhante à de "seiva". A mistura terá cheiro de açúcar queimado.
4. Adicione cerca de 50 g (50 mL ou 1/4 de xícara) ao frasco e agite até que o material esteja completamente dissolvido.
 - a. A solução deve ter uma cor laranja escura (mais clara que o chá gelado). Se estiver mais escura que o chá gelado, adicione um pouco mais de água. Veja um exemplo de como ficará esta solução na Figura 5.
5. Em um recipiente de vidro separado, adicione 1 g (~1/4 colher de chá) de açúcar de mesa e 10 g (10 mL ou 2 colheres de chá) de água. Mexa até que o açúcar esteja dissolvido.
6. (Se houver disponibilidade) Repita os passos 1 a 4 usando suco de limão fresco (10 g ou 3 colheres de chá) em vez de açúcar. Pare de aquecer quando a solução ficar xaroposa e escura (pode levar menos tempo do que o açúcar).



Figura 5. Exemplo de solução de açúcar+água que foi aquecida.

Os seguintes passos podem ser realizados por grupos menores:

7. Colete três amostras em tubos de ensaio: açúcar + água (aquecido), açúcar + água (sem aquecimento) e suco de limão + água (aquecido).
8. Coloque parafilme ou filme plástico sobre as soluções para evitar contaminação.
9. No escuro, ilumine as três soluções, uma de cada vez, com a luz UV. Registre suas observações.
10. Repita o passo 9 com as outras fontes de luz.

11. Sature um cotonete com as diferentes soluções.
12. Em um pedaço de papel branco, use o cotonete para escrever letras ou desenhar uma forma. Pode ser necessário umedecer novamente os cotonetes. Se a escrita estiver úmida o suficiente para parecer escura no papel, você provavelmente já usou solução suficiente.
13. Deixe a escrita desenhar.
14. No escuro, ilumine as três marcas com a luz UV. Registre suas observações.
15. Repita o passo 14 com suas outras fontes de luz.

3.2.5. Resultados

Soluto	O que você observou na luz da sala?	O que você observou com a luz UV?	O que você observou com o ponteiro laser verde?	O que você observou com o apontador laser vermelho?
<u>Açúcar + água (aquecida)</u> Tubo de ensaio: Marcação no papel:				
<u>Açúcar + água (sem aquecimento)</u> Tubo de ensaio: Marcação no papel:				

<p>Suco de limão + água (aquecida)</p> <p>Tubo de ensaio:</p> <p>Marcação no papel:</p>				
---	--	--	--	--

3.2.6. Perguntas pós-experimento

1. O que você observou na luz ambiente com suas soluções e marcações?

2. Com as fontes de luz que você usou no escuro, o que você observou?

a. Pergunta complementar: O que isso nos diz sobre as energias das fontes de luz e como elas se relacionam com nossos pontos quânticos?

3. Você notou alguma diferença nos pontos quânticos feitos com suco de limão e açúcar? Como você explica isso?

4. Houve alguma fonte de erro em seu experimento que poderia impactar seus resultados?

4. Desafio de Design

O Desafio: Desenvolver outra aplicação para pontos quânticos!

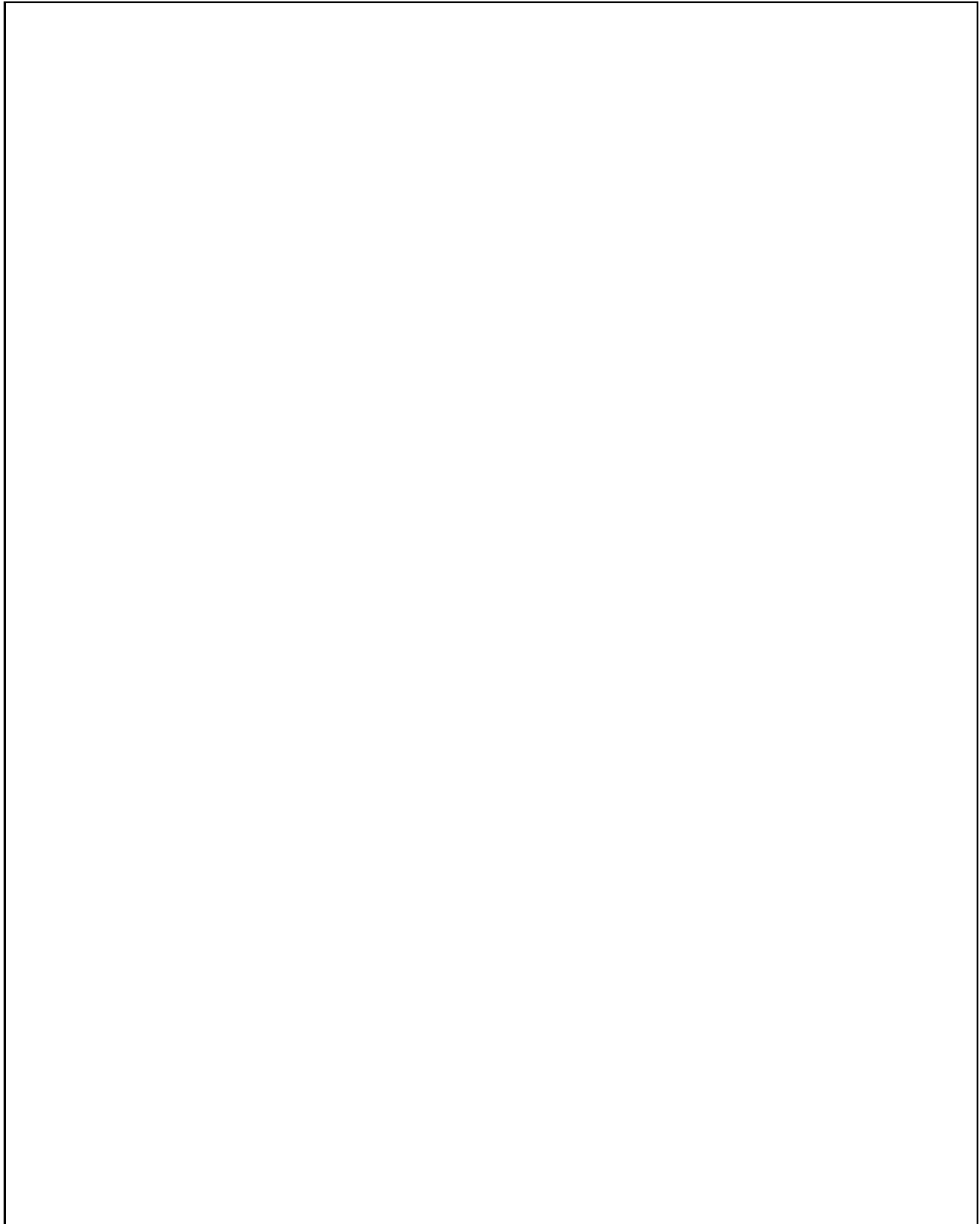
Vimos no experimento anterior que pontos quânticos podem fluorescência quando absorvem luz com alta energia e que a cor da fluorescência pode depender do tamanho do ponto quântico. Com esses conceitos em mente, considere outra aplicação para pontos quânticos que pode ser útil na sua vida.

4.1 Questões de Design

1. Como a cor da fluorescência depende do tamanho do ponto quântico? Há outros factores que podem afectar a cor?

4.2 Esboço de Design

Esboce abaixo o design da aplicação de fluorescência de pontos quânticos.



5. Fontes

Átomos e modelos atômicos:

<https://medium.com/@Intlink.edu/a-timeline-of-atomic-models-cb2607b1da85>

Pontos quânticos:

PhysicsQuest (2025): The Secret Glow of Nanobit from the Kitchen

United States Naval Academy Chemistry Department, Experiment #490: Synthesis and Properties of Quantum Dots. 2024.

https://intranet.usna.edu/ChemDept/_files/documents/integrated-labs/SC364/2024_Documents/S24_SC364_EXP_490_Quantum_Dots_FV9.pdf
(accessed September 20, 2024).

6. Apêndice

PERIODIC TABLE
Atomic Properties of the Elements

NIST
National Institute of Standards and Technology
U.S. Department of Commerce

Frequently used fundamental physical constants

For the most accurate values of these and other constants, visit physics.nist.gov/constants

1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of ¹³³Cs

speed of light in vacuum c 299 792 458 m s⁻¹ (exact)

Planck constant h 6.626 07 × 10⁻³⁴ J s ($h = h/2\pi$)

elementary charge e 1.602 177 × 10⁻¹⁹ C

electron mass m_e 9.109 38 × 10⁻³¹ kg

$m_e c^2$ 0.510 999 MeV

proton mass m_p 1.672 622 × 10⁻²⁷ kg

fine-structure constant α 1/137.035 999

Rydberg constant R_∞ 10 973 731.569 m⁻¹

$R_\infty c$ 3.289 841 960 × 10¹⁵ Hz

$R_\infty hc$ 13.605 69 eV

Boltzmann constant k 1.380 6 × 10⁻²³ J K⁻¹

Physical Measurement Laboratory
www.nist.gov/pml

Standard Reference Data
www.nist.gov/srd

Legend:

- Solids
- Liquids
- Gases
- Artificially Prepared

Group	PERIODIC TABLE																Physical Measurement Laboratory				Standard Reference Data				Group				
	1 IA	2 IIA		3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA										
1	¹ H Hydrogen 1.008 1s																								2	² He Helium 4.002602 1s ²			
2	³ Li Lithium 6.94 1s ² 2s	⁴ Be Beryllium 9.0121831 1s ² 2s ²																						⁵ B Boron 10.81 1s ² 2s ² 2p	⁶ C Carbon 12.0111 1s ² 2s ² 2p ²	⁷ N Nitrogen 14.007 1s ² 2s ² 2p ³	⁸ O Oxygen 15.999 1s ² 2s ² 2p ⁴	⁹ F Fluorine 18.99840316 1s ² 2s ² 2p ⁵	¹⁰ Ne Neon 20.1797 1s ² 2s ² 2p ⁶
3	¹¹ Na Sodium 22.98976928 [Ne]3s	¹² Mg Magnesium 24.305 [Ne]3s ²																						¹³ Al Aluminum 26.9815385 [Ne]3s ² 3p	¹⁴ Si Silicon 28.0855 [Ne]3s ² 3p ²	¹⁵ P Phosphorus 30.97376200 [Ne]3s ² 3p ³	¹⁶ S Sulfur 32.06 [Ne]3s ² 3p ⁴	¹⁷ Cl Chlorine 35.45 [Ne]3s ² 3p ⁵	¹⁸ Ar Argon 39.948 [Ne]3s ² 3p ⁶
4	¹⁹ K Potassium 39.0983 [Ar]4s	²⁰ Ca Calcium 40.078 [Ar]4s ²	²¹ Sc Scandium 44.955908 [Ar]3d ¹ 4s ²	²² Ti Titanium 47.867 [Ar]3d ² 4s ²	²³ V Vanadium 50.9415 [Ar]3d ³ 4s ²	²⁴ Cr Chromium 51.9961 [Ar]3d ⁵ 4s ¹	²⁵ Mn Manganese 54.938044 [Ar]3d ⁵ 4s ²	²⁶ Fe Iron 55.845 [Ar]3d ⁶ 4s ²	²⁷ Co Cobalt 58.933194 [Ar]3d ⁷ 4s ²	²⁸ Ni Nickel 58.933 [Ar]3d ⁸ 4s ²	²⁹ Cu Copper 63.546 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹	³⁰ Zn Zinc 65.38 [Ar]3d ¹⁰ 4s ²	³¹ Ga Gallium 69.723 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 4p	³² Ge Germanium 72.630 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	³³ As Arsenic 74.921595 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	³⁴ Se Selenium 78.971 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	³⁵ Br Bromine 79.904 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	³⁶ Kr Krypton 83.798 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶											
5	³⁷ Rb Rubidium 85.4678 [Kr]5s	³⁸ Sr Strontium 87.62 [Kr]5s ²	³⁹ Y Yttrium 88.90584 [Kr]4d ¹ 5s ²	⁴⁰ Zr Zirconium 91.224 [Kr]4d ² 5s ²	⁴¹ Nb Niobium 92.90637 [Kr]4d ⁴ 5s ¹	⁴² Mo Molybdenum 95.95 [Kr]4d ⁵ 5s ¹	⁴³ Tc Technetium (98) [Kr]4d ⁵ 5s ²	⁴⁴ Ru Ruthenium 101.07 [Kr]4d ⁷ 5s ¹	⁴⁵ Rh Rhodium 102.90550 [Kr]4d ⁸ 5s ¹	⁴⁶ Pd Palladium 106.42 [Kr]4d ¹⁰	⁴⁷ Ag Silver 107.8682 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹	⁴⁸ Cd Cadmium 112.414 [Kr]4d ¹⁰ 5s ²	⁴⁹ In Indium 114.818 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	⁵⁰ Sn Tin 118.710 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	⁵¹ Sb Antimony 121.760 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	⁵² Te Tellurium 127.60 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	⁵³ I Iodine 126.90447 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	⁵⁴ Xe Xenon 131.293 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶											
6	⁵⁵ Cs Cesium 132.9054520 [Xe]6s	⁵⁶ Ba Barium 137.327 [Xe]6s ²	⁷² Hf Hafnium 178.49 [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	⁷³ Ta Tantalum 180.94788 [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	⁷⁴ W Tungsten 183.84 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	⁷⁵ Re Rhenium 186.207 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	⁷⁶ Os Osmium 190.23 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	⁷⁷ Ir Iridium 192.222 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	⁷⁸ Pt Platinum 195.084 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	⁷⁹ Au Gold 196.966569 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	⁸⁰ Hg Mercury 200.592 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	⁸¹ Tl Thallium 204.38 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	⁸² Pb Lead 207.2 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	⁸³ Bi Bismuth 208.98040 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	⁸⁴ Po Polonium 209 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	⁸⁵ At Astatine 210 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	⁸⁶ Rn Radon 222 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶												
7	⁸⁷ Fr Francium (223) [Rn]7s	⁸⁸ Ra Radium (226) [Rn]7s ²	¹⁰⁴ Rf Rutherfordium (261) [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	¹⁰⁵ Rf Dubnium (268) [Rn]5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	¹⁰⁶ Sg Seaborgium (271) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	¹⁰⁷ Bh Bohrium (272) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	¹⁰⁸ Hs Hassium (270) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	¹⁰⁹ Mt Meitnerium (276) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	¹¹⁰ Ds Darmstadtium (281) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	¹¹¹ Rg Roentgenium (280) [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	¹¹² Cn Copernicium (285) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	¹¹³ Uut Ununtrium (284) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	¹¹⁴ Ff Flerovium (289) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	¹¹⁵ Uup Ununpentium (293) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	¹¹⁶ Lv Livermorium (293) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	¹¹⁷ Uus Ununseptium (294) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	¹¹⁸ Uuo Ununoctium (294) [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶												
			Lanthanides	⁵⁷ La Lanthanum 138.90547 [Xe]5d ¹ 6s ²	⁵⁸ Ce Cerium 140.116 [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	⁵⁹ Pr Praseodymium 140.907 [Xe]4f ³ 6s ²	⁶⁰ Nd Neodymium 144.242 [Xe]4f ⁴ 6s ²	⁶¹ Pm Promethium (145) [Xe]4f ⁵ 6s ²	⁶² Sm Samarium 150.36 [Xe]4f ⁶ 6s ²	⁶³ Eu Europium 151.964 [Xe]4f ⁷ 6s ²	⁶⁴ Gd Gadolinium 157.25 [Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	⁶⁵ Tb Terbium 158.92535 [Xe]4f ⁹ 6s ²	⁶⁶ Dy Dysprosium 162.500 [Xe]4f ¹⁰ 6s ²	⁶⁷ Ho Holmium 164.93033 [Xe]4f ¹¹ 6s ²	⁶⁸ Er Erbium 167.259 [Xe]4f ¹² 6s ²	⁶⁹ Tm Thulium 168.93422 [Xe]4f ¹³ 6s ²	⁷⁰ Yb Ytterbium 173.054 [Xe]4f ¹⁴ 6s ²	⁷¹ Lu Lutetium 174.9668 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²											
			Actinides	⁸⁹ Ac Actinium (227) [Rn]5f ¹ 7s ²	⁹⁰ Th Thorium 232.0377 [Rn]6d ² 7s ²	⁹¹ Pa Protactinium 231.03688 [Rn]5f ² 7s ²	⁹² U Uranium 238.02891 [Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	⁹³ Np Neptunium (237) [Rn]5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	⁹⁴ Pu Plutonium (244) [Rn]5f ⁶ 7s ²	⁹⁵ Am Americium (243) [Rn]5f ⁷ 7s ²	⁹⁶ Cm Curium (247) [Rn]5f ⁸ 7s ²	⁹⁷ Bk Berkelium (247) [Rn]5f ⁹ 7s ²	⁹⁸ Cf Californium (251) [Rn]5f ¹⁰ 7s ²	⁹⁹ Es Einsteinium (252) [Rn]5f ¹¹ 7s ²	¹⁰⁰ Fm Fermium (257) [Rn]5f ¹² 7s ²	¹⁰¹ Md Mendelevium (258) [Rn]5f ¹³ 7s ²	¹⁰² No Nobelium (259) [Rn]5f ¹⁴ 7s ²	¹⁰³ Lr Lawrencium (262) [Rn]5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹											

Legend:

- Solids
- Liquids
- Gases
- Artificially Prepared

Footnote: *Based upon ¹²C, () indicates the mass number of the longest-lived isotope. *IUPAC conventional atomic weights; standard atomic weights for these elements are expressed in intervals; see IUPAC for an explanation and values. For a description of the data, visit physics.nist.gov/data NIST SP 966 (September 2014)

Esta foto de autor desconhecido está licenciada sob CC BY-SA