
KIT QUANTUM (Q)

Química Quântica:

Laboratório para Alunos do Ensino Médio

Manual do professor



WOMEN SUPPORTING
WOMEN IN THE SCIENCES

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	4
1.1. Informações sobre WS2	4
1.2. Usando o Guia.....	4
1.3. Vocabulário-chave.....	5
1.4. Perguntas-chave	6
1.5. Objectivo	6
1.6. Conceitos científicos fundamentais abordados	6
1.7. Habilidades práticas.....	7
2. Contexto dos Tópicos Principais	7
2.1. O átomo.....	7
2.2. Pontos quânticos.....	9
3. Resumo dos Experimentos.....	11
3.1. Lista de Suprimentos	11
3.2. Informações de segurança	12
3.3. Pré-laboratório do professor.....	12
4. Experimentos.....	13
4.1. Parte I. Modelos Atômicos de Doces	13
4.1.1. Perguntas pré-actividade	13
4.1.2. Materiais.....	13
4.1.3. Procedimento e Análise (trabalho em grupos de 2 a 4)	14
4.1.4. Perguntas pós-actividade.....	15
4.2. Parte II. Pontos Quânticos de Carbono na Cozinha.....	16

4.2.1.	Contexto Adicional	16
4.2.2.	Questões pré-experimento	16
4.2.3.	Materiais.....	17
4.2.4.	Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	18
4.2.5.	Resultados	19
4.2.6.	Perguntas pós-experimento.....	20
5.	Desafio de Design.....	21
5.1	Questões de Design	21
5.2	Esboço de Design.....	23
6.	Fontes	24
7.	Apêndice.....	25

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. Usando o Guia

Este manual deve ser utilizado pelo professor ou facilitador do kit de laboratório e possui conteúdo semelhante ao manual do aluno, mas pode conter material adicional, a saber: Conceitos Fundamentais de Ciências Abordados, Habilidades Práticas, Resumo de Experimentos, Pré-Laboratório do Professor e Solução de Problemas. Essas seções adicionais visam fornecer ao professor o conhecimento e a base essenciais para a implementação bem-sucedida deste kit de laboratório em sala de aula. Recomenda-se que os professores deste kit de laboratório leiam o guia do início ao fim para se familiarizarem com o conteúdo antes de ensinar o kit de laboratório aos alunos. Dúvidas sobre o conteúdo podem ser direcionadas a qualquer momento para

ws2global.org@gmail.com, usando o assunto "Dúvidas sobre o Conteúdo do Kit de Laboratório".

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

- Este kit de laboratório destina-se ao uso com alunos do ensino médio (idades entre 12 e 18 anos), mas, dependendo da formação educacional específica dos alunos, o conteúdo pode precisar ser modificado pelo professor para torná-lo mais simples ou mais complexo. O professor também é incentivado a abordar o conteúdo no ritmo que for mais adequado para os alunos; alguns alunos mais jovens podem precisar de mais tempo e atenção do professor e/ou facilitador para analisar as questões e os experimentos, enquanto alunos mais velhos podem ser mais independentes e exigir menos atenção do professor e/ou facilitador. Portanto, o conteúdo abordado, a profundidade da abordagem e o ritmo ficam a critério do professor e/ou facilitador.
- conteúdo deste manual de kit de laboratório pode não se adequar ao currículo específico da escola em que está sendo ensinado. Fica a critério do(s) facilitador(es) e do(s) professor(es) se desejam introduzir novos conteúdos ou pular determinadas seções que não se aplicam às suas salas de aula.
- Em certas áreas, pode ser necessário fazer modificações na lista de materiais, dependendo da disponibilidade de materiais na área específica em que o laboratório está sendo ministrado. Tentamos listar algumas alternativas na lista de materiais, mas entendemos que esta lista de alternativas não é exaustiva.
- Nos experimentos, os alunos são divididos em grupos de três a quatro. Se os materiais permitirem, os alunos podem ser divididos em grupos de dois.

1.3. 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)

- Ponto quântico: uma nanopartícula tipicamente com tamanho entre 2 e 10 nm, com propriedades únicas que surgem por ser tão pequena (como a emissão de luz)
- Fluorescência: luz emitida por uma partícula em estado excitado que dura na ordem de nano a microssegundos

1.4. Perguntas-chave

- Quais são as principais características dos modelos atômicos de Rutherford, Bohr e da mecânica quântica?
 - Resposta: *O modelo de Rutherford possui um núcleo denso com elétrons ao redor. Este modelo foi criado após o famoso experimento da folha de ouro. O modelo de Bohr adicionou órbitas de elétrons em energias específicas ao redor do núcleo. Finalmente, o modelo da mecânica quântica descreveu os elétrons como sendo encontrados em nuvens, ou orbitais, com alta probabilidade.*
- O que é um ponto quântico de carbono e o que significa ter fluorescência?
 - Resposta: Pontos quânticos de carbono são pequenos nanocristais de carbono, tipicamente com menos de 10 nanômetros de tamanho. Esses materiais especiais possuem fluorescência, o que significa que eles emitem luz ao absorver luz, que normalmente tem vida curta.

1.5. Objectivo

O objectivo deste manual de laboratório é permitir que os alunos compreendam átomos e matéria nanométrica por meio de teoria, demonstração e experimentos. O manual apresenta aos alunos modelos atômicos antes de discutir pontos quânticos e as maneiras únicas pelas quais a luz interage com eles.

1.6. Conceitos científicos fundamentais abordados

Este kit de laboratório introduz o tópico da química quântica, relevante para vários campos, incluindo física, química e biologia, para alunos do ensino fundamental e médio/secundário. Especificamente, o kit de laboratório incentiva os alunos a pensar

sobre o bloco de construção da matéria, o átomo, e partículas extremamente pequenas, nanopartículas, por meio de modelos e experimentos. Os alunos obterão as seguintes conclusões principais: (1) modelos atômicos construídos uns sobre os outros, com o modelo actual descrevendo átomos como tendo um núcleo denso com prótons, nêutrons e elétrons em orbitais; (2) pontos quânticos de carbono podem ser criados por meio de reações químicas com materiais que contêm carbono e esses materiais têm propriedades especiais como fluorescência, o que significa que emitem luz ao absorver luz de uma energia suficientemente alta.

1.7. Habilidades práticas

- Os alunos compreenderão a estrutura do bloco de construção básico da matéria, o átomo, e como os átomos formam entidades maiores, como moléculas e nanopartículas.
- Os alunos adquirirão experiência com química básica, incluindo pesagem e aquecimento de amostras.
- Os alunos conectarão conceitos a experiências cotidianas na escola e em casa (por exemplo, objectos que brilham no escuro).

2. Contexto dos Tópicos Principais

2.1. O átomo

O átomo é o bloco de construção básico da matéria, compondo tudo ao nosso redor. Os átomos são essencialmente a menor unidade de um elemento (pense nos elementos da tabela periódica, como carbono, níquel, alumínio e hidrogênio) que ainda retém 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 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.

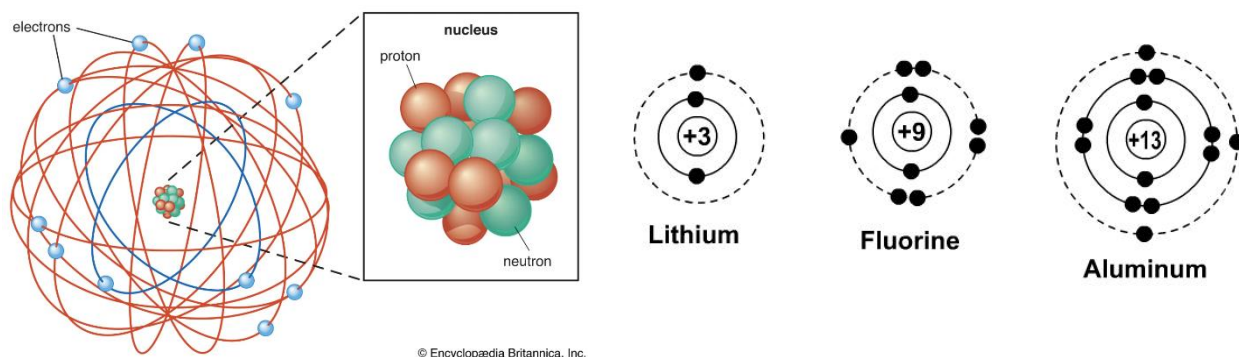


Figura 1. No modelo atômico de Rutherford (à esquerda), o núcleo é uma densa concentração de massa no centro do átomo e há muito espaço vazio. No modelo atômico de Bohr (à direita), os elétrons orbitam o núcleo com órbitas de tamanhos e energias bem definidos. Esta foto, de autor desconhecido, está licenciada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

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.

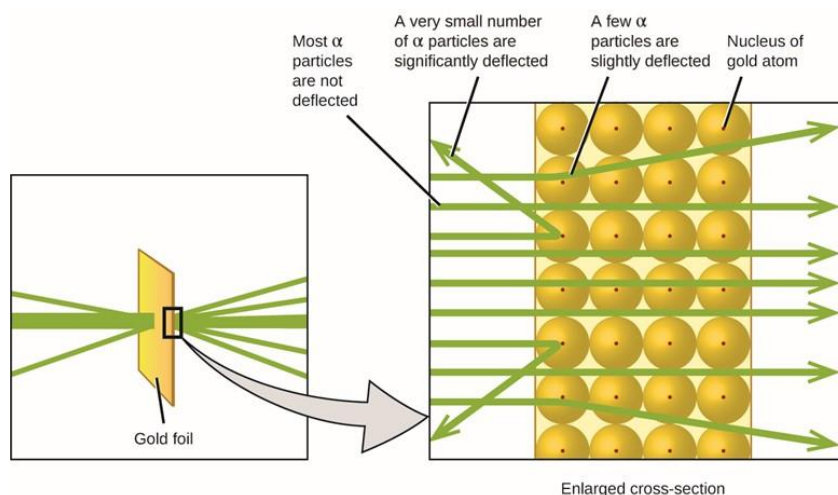


Figura 2. Esquema experimental com folha de ouro. A maioria das partículas alfa atravessou a folha de ouro, mas um número muito pequeno é desviado ao atingir o núcleo denso. Esta foto, de autor desconhecido, está licenciada sob CC BY-SA-NC.

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 prefiram 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 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.

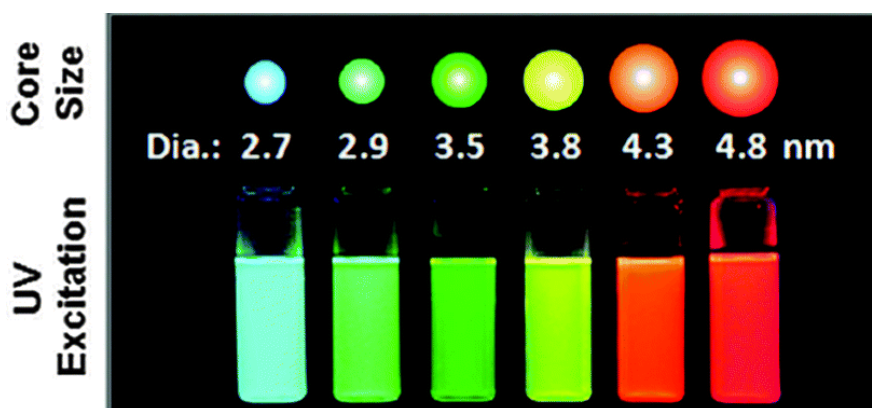


Figura 3. O tamanho dos pontos quânticos está relacionado à cor que eles emitem. Pontos quânticos maiores emitem em comprimentos de onda mais longos (mais vermelhos). Esta foto de autor desconhecido está licenciada sob CC BY-NC.

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.

3. Resumo dos Experimentos

Este kit de laboratório consiste em uma actividade, um experimento e um desafio de design para compreender conceitos relacionados à química quântica. Esta investigação começará fornecendo informações relevantes sobre átomos, nanomateriais e fluorescência, antes de modelar e demonstrar fenômenos-chave. Os objectivos dos experimentos e do desafio de design são os seguintes:

Parte I: Modelar o átomo usando um doce que exiba um núcleo denso de prótons, nêutrons e elétrons ao redor do núcleo.

Parte II: Demonstrar a fluorescência em pontos quânticos de carbono criados a partir de diferentes materiais contendo carbono.

Desafio de Design: Projectar uma aplicação que utilize fluorescência em sua vida.

3.1. 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

3.2. Informações de segurança

Antes de os alunos iniciarem o laboratório, levem em consideração as seguintes questões de segurança:

- Os alunos nunca devem olhar directamente para uma lanterna UV ou ponto de laser, pois isso pode causar danos permanentes aos olhos devido à intensidade do laser e à emissão de um feixe estreito.
- Os alunos devem ter cuidado ao manusear vidraria quente e devem usar luvas de proteção ou luvas de proteção para movê-la.
- Os alunos não devem comer ou provar os itens durante os experimentos.

3.3. Pré-laboratório do professor

Os professores podem organizar os materiais para os experimentos e actividades com antecedência. Para cada aluno ou cada grupo de 2 a 4 alunos, os materiais necessários são: balas esféricas de três cores (pelo menos 8 por grupo) (ou bolas de papel alumínio/papel comprimido de três cores), vários palitos de dente, um pedaço de barbante escuro (aproximadamente ~0,5 m) (ou ~4 a 5 limpadores de cachimbo), papel (pelo menos 2 pedaços), 3 tubos de ensaio (ou recipientes transparentes), 3 pequenos pedaços de parafilme (ou filme plástico), 3 cotonetes e uma caneta ou lápis. Deve haver fontes de luz (lanterna UV, lasers) que a turma possa partilhar. Para a Parte II, as soluções podem ser preparadas em grupo antes de serem divididas entre os grupos. Uma fonte de aquecimento (micro-ondas, chapa eléctrica ou forno) deve estar disponível para uso. Para cada solução, serão necessários os seguintes materiais: 1 frasco de Pyrex, 1 g de açúcar (ou 10 g de suco de limão fresco) e água (aproximadamente 60 mL).

Os professores podem aprender mais sobre a Parte II acessando este link para assistir ao vídeo relacionado:

https://www.youtube.com/watch?v=jYG5279Cmx0&list=PLgxD9DiwxLGp_3vj3biSPG88glyU6Vzpz&index=9.

4. Experimentos

Nota para professores:

Incentive a discussão aberta e as perguntas da turma ao apresentar os experimentos.

4.1. Parte I. Modelos Atômicos de Doces

4.1.1. Perguntas pré-actividade

1. Quais partículas subatômicas são encontradas no centro do átomo (núcleo)?
 - a. Resposta: Prótons (carregados positivamente) e nêutrons (sem carga).
2. Quais partículas subatômicas circundam o núcleo?
 - a. Resposta: Elétrons (carregados negativamente).
3. Quais são as principais características do modelo de Rutherford do átomo?
 - a. Resposta: Núcleo denso no centro do átomo e elétrons que o circundam. O átomo é composto principalmente de espaço vazio.

4.1.2. 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

4.1.3. 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.
 - i. Resposta: *Prótons e nêutrons.*
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.
 - i. Resposta: *Órbitas ou orbitais.*
4. Selecione 8 balas da cor restante e coloque-as nos círculos concêntricos.
 - a. O que esses doces representam? Identifique isso no papel.
 - i. Resposta: *Elétrons.*
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.

4.1.4. Perguntas pós-actividade

1. Qual elemento você modelou nesta actividade? Como você sabe? (Dica: pode ser necessário consultar a tabela periódica – veja o Apêndice)
 - a. Resposta: *Oxigênio. O oxigênio tem 8 prótons, e sabemos disso pela tabela periódica, que mostra que o número atômico do oxigênio é 8.*
2. Este átomo estava carregado nesta actividade? Como você sabe?
 - a. Resposta: *Não, o átomo não estava carregado. Isso ocorre porque o número de cargas positivas (prótons) era igual ao número de cargas negativas (elétrons).*
 - b. Pergunta complementar: Como você imaginaria tornar este átomo carregado?
 - i. Resposta: *Se removêssemos ou adicionássemos um elétron, o átomo de oxigênio ficaria carregado. Se removêssemos um elétron, o átomo ficaria carregado positivamente, e se adicionássemos um elétron, o átomo ficaria carregado negativamente. Não podemos*

reter o átomo de oxigênio se alterarmos o número de prótons, o que significa que o átomo de oxigênio se tornará um elemento diferente.

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.
 - a. Resposta: *Incentive a criatividade dos alunos. Algumas opções possíveis: (1) Poderíamos tentar representar o modelo da mecânica quântica com nuvens de elétrons. Talvez pudéssemos usar algodão em vez de círculos planos neste caso. Pedacos de algodão representariam orbitais e a natureza probabilística da descoberta de elétrons. (2) Também poderíamos representar melhor os tamanhos das partículas subatômicas. Os elétrons são muito menores que os prótons ou nêutrons, então poderíamos usar um doce muito menor para representá-los.*

4.2. Parte II. Pontos Quânticos de Carbono na Cozinha

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

4.2.1. 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".

4.2.2. Questões pré-experimento

1. O que são pontos quânticos de carbono (Cdots)?
 - a. Resposta: *Pontos quânticos de carbono são pequenos nanocristais de carbono que possuem tamanhos tipicamente abaixo de 10 nanômetros.*

2. O que é fluorescência?

a. Resposta: *Fluorescência é o fenômeno de um material que emite luz após absorver luz com energia suficientemente alta. Essa emissão dura na ordem de nano a microssegundos.*

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

a. Resposta: *Partículas maiores emitem em comprimentos de onda maiores (mais vermelhos), e partículas menores emitem em comprimentos de onda menores (mais azuis).*

4.2.3. Materiais

- Açúcar
- Água
- Suco de limão
- Fonte de calor (forno de micro-ondas, chapa elétrica, 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

4.2.4. 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 húmida 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.

4.2.5. 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:				

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

4.2.6. Perguntas pós-experimento

1. O que você observou na luz ambiente com suas soluções e marcações?
 - a. Resposta: Na luz ambiente, não vemos nenhuma emissão das soluções ou marcações.

2. Com as fontes de luz que você usou no escuro, o que você observou?
 - a. Resposta: As fontes de luz com energia alta o suficiente, como a lanterna UV e o laser verde, provavelmente fizeram com que as soluções que continham pontos quânticos de carbono (as soluções aquecidas de água com açúcar e água com suco de limão) fluorescessem. O laser vermelho provavelmente não tinha energia suficiente para causar a fluorescência.
 - b. Pergunta complementar: O que isso nos diz sobre as energias das fontes de luz e como elas se relacionam com nossos pontos quânticos?
 - i. Resposta: As fontes de luz que causaram a fluorescência da solução aquecida têm energia mais alta do que aquelas que não causaram a fluorescência da solução aquecida. Isso nos diz algo sobre a energia necessária para causar a fluorescência em nossos pontos quânticos. As fontes de luz de maior energia forneceram energia suficiente para excitar um elétron do seu estado fundamental para um estado excitado, e então o excesso de energia foi emitido como luz. As fontes de luz de menor energia não conseguiram fazer isso em nossos Cdots.

3. Você notou alguma diferença nos pontos quânticos feitos com suco de limão e açúcar? Como você explica isso?
 - a. *Resposta:* Os alunos podem ou não notar diferenças significativas. Se houver diferenças, isso pode ser devido ao tamanho do ponto quântico ou à composição química.

4. Houve alguma fonte de erro em seu experimento que poderia impactar seus resultados?
 - a. *Resposta:* Incentive os alunos a pensarem de forma ampla sobre as fontes de erro. O açúcar ou o suco de limão podem conter impurezas que afetam a absorção e a emissão. Os outros componentes (água) e os recipientes de vidro não estão perfeitamente limpos, então isso sempre pode introduzir algumas impurezas e erros. Tempo de aquecimento insuficiente afetaria a formação de pontos quânticos de carbono.

5. 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.

5.1 Questões de Design

1. Como a cor da fluorescência depende do tamanho do ponto quântico? Há outros fatores que podem afetar a cor?
 - a. *Resposta:* Partículas maiores emitem comprimentos de onda mais vermelhos e partículas menores emitem comprimentos de onda mais azuis. Além do tamanho, a composição química também pode afetar a cor.

2. Como você poderia potencialmente alterar as condições de síntese dos pontos quânticos para alterar sua cor de fluorescência?
 - a. *Resposta:* Os alunos devem especular sobre o que poderiam fazer para alterar o tamanho ou a composição de seus pontos quânticos. Eles

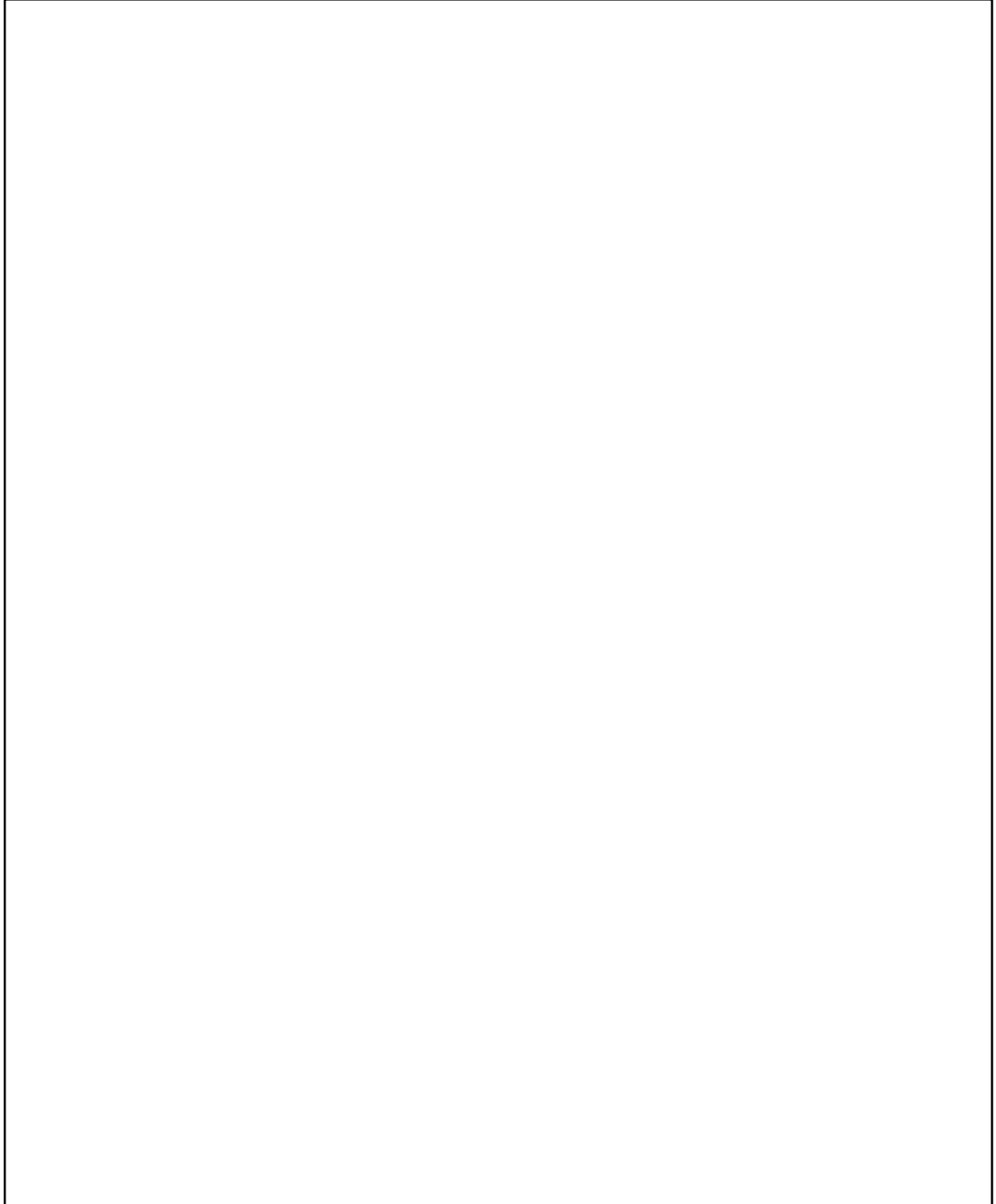
poderiam usar diferentes materiais iniciais na tentativa de fazer um ponto quântico de um material diferente. Eles poderiam adicionar outro produto químico para alterar a composição de seu ponto quântico. Eles poderiam tentar aquecer por períodos mais longos ou mais curtos para impactar o tamanho de seus pontos quânticos. Incentive o pensamento criativo.

3. Qual o papel da energia da luz absorvida na fluorescência?
 - a. Resposta: *A luz absorvida precisa ter energia suficiente para causar fluorescência.*

4. Como as propriedades da fluorescência podem ser utilizadas em aplicações? Faça um brainstorming com várias ideias, compartilhe e discuta com seus colegas.
 - a. Resposta: *Os alunos devem pensar de forma ampla e imaginar muitas possibilidades diferentes. Incentive a criatividade e o debate aberto.*

5.2 Esboço de Design

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

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page below the text. It is intended for the student to draw a design sketch for the quantum dot fluorescence application.

6. 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).

7. 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	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	⁷ N Nitrogen 14.007 1s ² 2s ² 2p	⁸ O Oxygen 15.999 1s ² 2s ² 2p	⁹ F Fluorine 18.99840316 1s ² 2s ² 2p	¹⁰ Ne Neon 20.1797 1s ² 2s ² 2p				
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	¹⁵ P Phosphorus 30.97376200 [Ne]3s ² 3p	¹⁶ S Sulfur 32.06 [Ne]3s ² 3p	¹⁷ Cl Chlorine 35.45 [Ne]3s ² 3p	¹⁸ Ar Argon 39.948 [Ne]3s ² 3p				
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 58.6934 [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 ² 4p	³² Ge Germanium 72.630 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p	³³ As Arsenic 74.921595 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p	³⁴ Se Selenium 78.971 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p	³⁵ Br Bromine 79.904 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p	³⁶ Kr Krypton 83.796 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p						
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	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 Db 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 (288) [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]6s 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 7p ¹ 7d 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