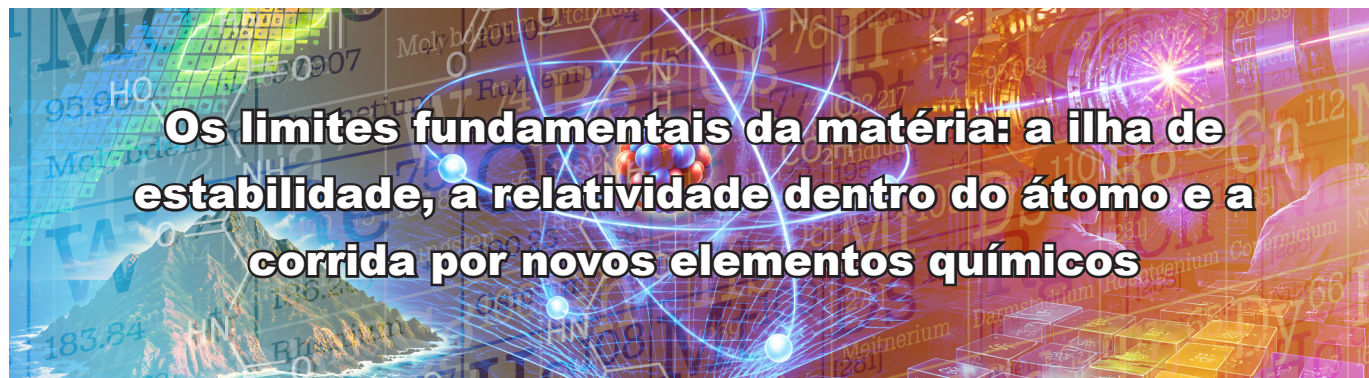




Os limites fundamentais da matéria: a ilha de estabilidade, a relatividade dentro do átomo e a corrida por novos elementos químicos

Iterlandes Machado Junior e Gabriel Henrique Sperandio

A busca por novos elementos químicos é hoje uma das fronteiras mais ativas da ciência, com laboratórios de diversos países competindo para fabricar átomos que a natureza não produz. Ainda assim, o ensino de Química raramente conecta seus fundamentos clássicos a essa fronteira, sobretudo aos efeitos relativísticos e aos limites da tabela periódica. Este artigo aproxima o tema do ensino médio articulando três eixos, a corrida por novos elementos, a relatividade dentro do átomo e a ilha de estabilidade, que convergem no elemento de número atômico 120. Partindo de fenômenos cotidianos, como a cor do ouro, o mercúrio líquido e a bateria do carro, revela-se o mecanismo invisível por trás de cada um, numa inversão didática inspirada em Faraday. Mostra-se que o elemento 120, embora pertença formalmente ao grupo 2, não se comportaria como um típico metal alcalinoterroso. Conclui-se que os fundamentos clássicos são o substrato da fronteira atual, com conexões à BNCC e à literatura de ensino.

► tabela periódica, elementos superpesados, ensino médio ◀

Recebido em 02/06/2026; aceito em 02/09/2026

1

Introdução

Em um laboratório da Califórnia, um detector registra um lampejo: um único átomo acaba de nascer de uma colisão violenta entre dois núcleos. É um elemento que não existe em parte alguma da natureza e que jamais existiu na Terra antes de alguém o fabricar. Menos de um milésimo de segundo depois, ele se desfaz. Houve tempo apenas de provar que, por um instante, ele esteve ali. Isso aconteceu de verdade, repetidas vezes, na última década, enquanto equipes nos Estados Unidos, na Rússia, na Alemanha e no Japão disputam quem fará o próximo elemento da tabela periódica, o de número atômico 120.

A maioria dos textos sobre os confins da tabela periódica começa pela teoria. O caminho parece rigoroso, mas costuma perder o leitor antes da parte interessante. Faraday apontava o oposto: ao abrir suas conferências natalinas com uma simples vela acesa, defendia que não há porta mais aberta para o estudo da filosofia natural do que o exame de um fenômeno concreto diante dos olhos (Faraday, 2007). Este artigo segue a mesma direção, começando sempre pelo fenômeno e só depois perguntando o que está escondido por trás dele.

Três eixos organizam a discussão e dão título a este texto: a corrida por novos elementos químicos, a relatividade dentro do átomo e a ilha de estabilidade. Eles não são independentes, e seu ponto de encontro tem nome e endereço na tabela: o elemento 120. É a relatividade que decidirá que tipo de metal ele será; é a ilha de estabilidade que dirá por quanto tempo ele existirá; e é a corrida entre laboratórios que tentará, neste exato momento, fabricá-lo. Essa convergência permite articular conteúdos clássicos do ensino médio, modelos atômicos, propriedades periódicas e radioatividade, com uma das fronteiras mais vivas da ciência atual (Flôr, 2009; Garbellini e Rocha-Filho, 2015).

Vale destacar que essa fronteira foi erguida sobre bases que os professores de Química ensinam há mais de um século: a periodicidade de Mendeleiev (1869), as camadas eletrônicas de Bohr (1913), a equação que une mecânica quântica e relatividade, escrita por Dirac em 1928 (Dirac, 1928), e o modelo de camadas nucleares de 1949 (Goeppert Mayer, 1949). Aprender bem esses fundamentos é justamente o que permite compreender por que o elemento 120 promete surpreender.

A corrida por novos elementos químicos: fabricando átomos que a natureza não faz

Fenômeno de Abertura: Em 2016, a IUPAC reconheceu oficialmente quatro novos elementos, completando a sétima linha da tabela: nihônio (113), moscóvio (115), tennesso (117) e oganessônio (118). O oganessônio, o mais pesado já fabricado, foi produzido um átomo de cada vez; seu isótopo mais estável vive menos de um milésimo de segundo. Para batizar um elemento tão fugaz, bastou detectar um punhado de átomos ao longo de anos de experimentos (Rocha-Filho, 1997).

Os primeiros 94 elementos da tabela, do hidrogênio ao plutônio, ocorrem na natureza. Todos os mais pesados são artificiais, sintetizados desde os trabalhos pioneiros de Glenn Seaborg, e a história dessa expansão é, em si, um belo episódio de história da ciência para a sala de aula (Flôr, 2009). Fabricar um elemento não é uma reação química, e sim nuclear. A receita parece simples no papel: para obter um elemento com determinado número de prótons, basta fundir dois núcleos mais leves cuja soma de prótons dê esse número. Na prática, é uma das tarefas mais difíceis da ciência experimental.

Para orientar a leitura, a Figura 1 reúne a tabela periódica completa, com destaque para os elementos citados ao longo do texto e para a posição prevista do elemento 120.

A receita parece simples no papel: para obter um elemento com determinado número de prótons, basta fundir dois núcleos mais leves cuja soma de prótons dê esse número. Na prática, é uma das tarefas mais difíceis da ciência experimental.

Um acelerador lança um feixe intenso de núcleos leves contra um alvo de um elemento pesado. A esmagadora maioria atravessa ou ricocheteia; pouquíssimos chegam perto o bastante para vencer a repulsão entre as cargas positivas e se fundir. A probabilidade é tão baixa que se pode bombardear o alvo por semanas para ver um único átomo nascer (Oganessian e Utyonkov, 2015). Durante anos, a receita usou um feixe de cálcio-48 contra alvos cada vez mais pesados, chegando do elemento 112 ao 118. Mas há um muro: o califórnio (98 prótons) é o alvo prático mais pesado disponível, e cálcio (20) somado a califórnio (98) dá 118. Para ir além sem trocar o alvo, só resta trocar o projétil (Giuliani *et al.*, 2019).

Foi o que um grupo do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley demonstrou em 2024, ao bombardear um alvo de plutônio-244 (94 prótons) com um feixe de titânio-50 (22 prótons) e produzir, pela primeira vez, livermório (116) por essa rota inédita (Gates *et al.*, 2024). O resultado é decisivo porque valida o feixe de titânio: trocando o alvo

de plutônio por califórnio (98 prótons), a soma passa a ser exatamente 120 (22 + 98), e esse é justamente o próximo passo que se pretende dar, ainda não concretizado. A corrida é mundial: o instituto RIKEN, no Japão, persegue o elemento 119; centros na Alemanha e na Rússia também disputam. Estima-se que fabricar o 120 seja de dez a vinte vezes mais difícil que o livermório, talvez exigindo quase um ano de feixe contínuo para um único átomo (Gates *et al.*,

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	1 H																2 He	
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
8		120 Ubn																
Elemento 120 (previsto): 8º período, grupo 2																		
Lantanídeos	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actínídeos	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			
Elementos discutidos no texto (Au, Hg, Pb) Elementos superpesados citados (Cn, Og) Séries dos lantanídeos (57-71) e dos actínídeos (89-103) Elemento previsto (120 Ubn)																		

Figura 1: Tabela periódica dos elementos. Em destaque, os elementos discutidos no texto (ouro, mercúrio e chumbo) e os superpesados citados (copernício e oganessônio); em vermelho, a posição prevista do elemento 120, no 8º período e grupo 2. Fonte: Elaborada pelos autores.

2024). De fato, as tentativas de síntese do elemento 120 pela reação titânio-califórnio tiveram início em 2025 e seguiam em andamento em 2026, sem que sua existência tivesse sido confirmada até o fechamento deste texto. O visível é o lampejo no detector; o invisível são as duas perguntas que movem toda a corrida e que ocupam as próximas seções: que tipo de metal o elemento 120 será, e por quanto tempo ele conseguirá existir.

A relatividade dentro do átomo: exemplos do dia a dia

Fenômeno de Abertura: Quatro coisas comuns parecem não ter relação entre si. O ouro de uma aliança é amarelo, e não prateado como quase todos os metais. O mercúrio de um termômetro antigo é líquido à temperatura ambiente. O carro dá partida graças a uma bateria de chumbo. E os contatos elétricos de um celular são banhados a ouro porque o ouro não enferruja. As quatro têm a mesma causa secreta, e ela é, literalmente, a teoria da relatividade de Einstein agindo dentro do átomo (Pyykkö, 2012; Ahuja et al., 2011).

Quando alguém fala em relatividade, a imagem que vem à cabeça costuma ser cósmica: naves quase tão rápidas quanto a luz, buracos negros, o tempo passando mais devagar. Mas a teoria de Einstein não trabalha só lá longe, no espaço. Ela também age, em silêncio, dentro dos átomos mais pesados, e o resultado aparece em coisas tão banais quanto a cor do ouro, o mercúrio do termômetro e a bateria que dá partida no seu carro.

Por que os elétrons correm tanto?

O ponto de partida é simples. Dentro de um átomo, todos os elétrons são atraídos pela carga positiva dos prótons; mas os que estão mais próximos do núcleo sentem essa atração de forma mais intensa. Quanto mais prótons o núcleo tem, mais forte é esse puxão, e mais rápido esses elétrons precisam se mover para não desabar sobre o núcleo. Em átomos muito pesados, eles chegam a velocidades absurdas. No ouro, que tem 79 prótons, os elétrons mais internos viajam a cerca de 58% da velocidade da luz. Mais da metade! (Pyykkö, 2012; Thayer, 2005). É justamente aí que Einstein entra em cena. Uma das ideias da relatividade é que, quanto mais rápido algo se move, maior fica a sua massa.¹ Esses elétrons velozes ficam, portanto,

Quando alguém fala em relatividade, a imagem que vem à cabeça costuma ser cósmica: naves quase tão rápidas quanto a luz, buracos negros, o tempo passando mais devagar. Mas a teoria de Einstein não trabalha só lá longe, no espaço. Ela também age, em silêncio, dentro dos átomos mais pesados, e o resultado aparece em coisas tão banais quanto a cor do ouro, o mercúrio do termômetro e a bateria que dá partida no seu carro.

“mais pesados”, e um elétron mais pesado orbita mais perto do núcleo. O efeito é que certas camadas de elétrons encolhem, em especial as do tipo *s*, que são as que mais se aproximam do centro do átomo.

Mas por que logo o 6s, se ele é tão externo?

Aqui vale trocar a imagem das órbitas de Bohr pela descrição probabilística do átomo. Nela não se fala em elétrons percorrendo trajetórias fixas, mas em orbitais, regiões descritas por uma densidade de probabilidade radial que informa a que distância do núcleo é mais provável encontrar o elétron. É essa descrição que desfaz um aparente paradoxo: como um efeito que age sobre os elétrons velozes, junto ao núcleo, consegue contrair justamente o orbital 6s, que é um dos mais externos do átomo? A resposta está numa propriedade dos orbitais do tipo *s*: por não terem momento angular, eles penetram as camadas internas e mantêm densidade de probabilidade apreciável muito perto do núcleo. A curva de densidade radial do 6s não é um único monte distante; ela possui pequenos lóbulos internos, próximos do núcleo (Figura 2).

Durante a fração do tempo em que está nesses lóbulos internos, o elétron 6s mergulha na região de carga nuclear quase sem blindagem, onde atinge as altíssimas velocidades responsáveis pelo efeito relativístico. É por penetrar até ali que o 6s efetivamente “sente” a relatividade e se contrai e estabiliza, embora seja um orbital de valência. O orbital 5d, ao contrário, tem momento angular maior: uma barreira centrífuga o mantém afastado do núcleo, de modo que quase não penetra a região interna (Figura 2) e praticamente não sofre o efeito relativístico direto. Ele é afetado de outra forma: como os orbitais *s* e *p* contraídos passam a blindar melhor a carga nuclear, o 5d sente uma carga efetiva menor, expande-se e sobe em energia. Esse duplo movimento, contração do 6s e expansão do 5d, é justamente o que aproxima os dois níveis e prepara a explicação da cor do ouro apresentada a seguir.

Por que o ouro é dourado?

Esse encolhimento muda a energia dos elétrons. No ouro, ele aproxima dois níveis de energia (o 5d e o 6s) que, sem a relatividade, ficariam bem afastados. Quando esses níveis estão distantes, o ouro só absorveria luz ultravioleta (que não enxergamos) e pareceria branco-prateado, igualzinho à prata. Mas a relatividade aproxima os níveis, e o metal passa a absorver a luz azul, refletindo o resto. E esse “resto”, para o nosso olho,

¹Trata-se de uma simplificação didática. Na formulação moderna da relatividade, a massa de repouso do elétron é uma grandeza invariante; o que de fato cresce com a velocidade é o momento (e a energia) da partícula. A imagem do elétron “mais pesado” funciona como modelo qualitativo para antecipar a contração dos orbitais, mas convém apresentá-la como tal, e não como um aumento real de massa (Pyykkö, 2012).

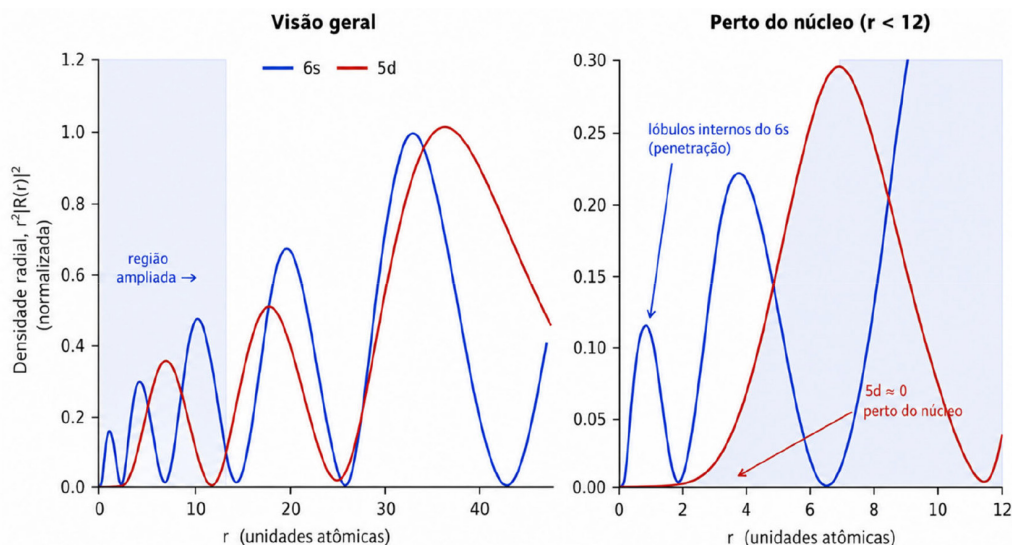


Figura 2: Densidade de probabilidade radial dos orbitais 6s e 5d (curvas hidrogenoides, em unidades atômicas). O orbital 6s (azul) apresenta lóbulos internos próximos do núcleo, a penetração, enquanto o 5d (vermelho), por causa da barreira centrífuga, é mantido afastado da região nuclear. Ao penetrar até perto do núcleo, o elétron 6s atinge velocidades relativísticas e seu orbital se contrai e estabiliza; o 5d, que não penetra, é apenas blindado com mais intensidade pelos orbitais s e p contraídos e, por isso, se expande. Fonte: Esquema elaborado pelos autores.

4

tem exatamente a cara do amarelo dourado. Portanto, o ouro só é dourado por causa da relatividade (Figura 3). Sem ela, seria mais um metal prateado (Pyykkö, 2012). Esse mesmo encolhimento dos orbitais também explica por que o ouro quase não reage com nada, a famosa “nobreza” que o torna perfeito para contatos elétricos e até para obturações de dente.

E o cobre, que também é avermelhado?

Nele os efeitos relativísticos são bem mais fracos, cerca de sete vezes menores que no ouro. Aqui a cor não depende

de Einstein: o cobre seria avermelhado de qualquer jeito. Nele, há elétrons na chamada banda 3d que ficam muito próximos do nível de energia dos elétrons de condução (banda 4s). Isso permite uma transição eletrônica (de 3d para 4s) que absorve fótons com energia em torno de 2,1 a 2,5 eV. Essa faixa de energia corresponde justamente à luz azul e verde (comprimentos de onda mais curtos). Ou seja, o cobre absorve o azul e o verde e reflete bem as cores de menor energia: o vermelho, o laranja e o amarelo. A soma dessas cores refletidas é o que enxergamos como o tom

Por que o ouro é dourado: a relatividade aproxima os níveis 5d e 6s

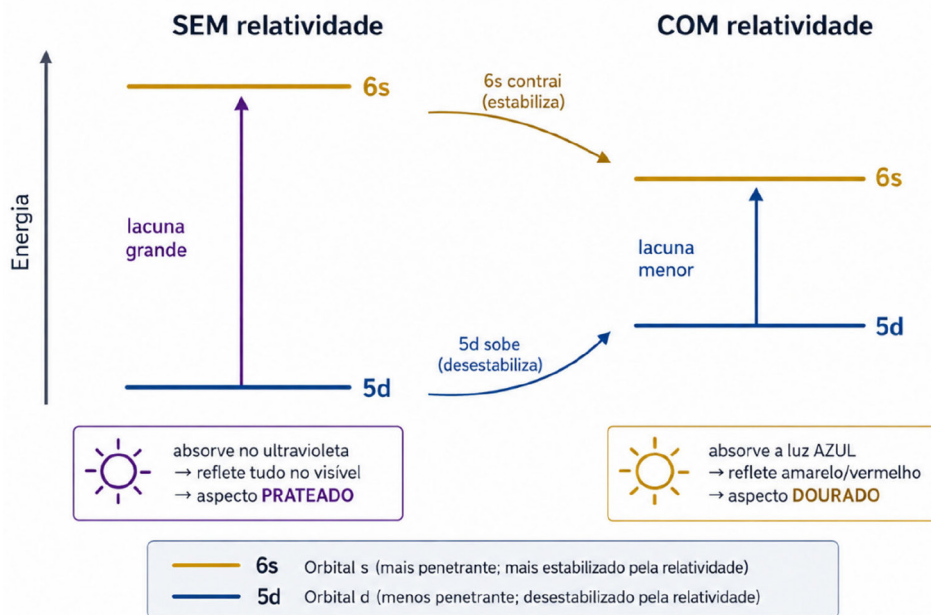


Figura 3: Origem da cor do ouro. Sem os efeitos relativísticos, a grande separação entre os níveis 5d e 6s só permitiria absorção no ultravioleta, e o metal pareceria prateado. A contração relativística do 6s aproxima os níveis, deslocando a absorção para a luz azul; a reflexão do amarelo e do vermelho resulta na cor dourada. Fonte: Esquema elaborado pelos autores com base em Pyykkö (2012).

avermelhado característico. A relatividade só ajusta um detalhe fino do tom.

O mercúrio que escorre

O mesmo raciocínio explica por que o mercúrio é líquido à temperatura ambiente, algo raríssimo entre os metais. No mercúrio ($Z = 80$), a carga nuclear enorme também acelera os elétrons internos a velocidades próximas de uma fração da velocidade da luz. Por causa do aumento relativístico de massa, os orbitais do tipo s contraem e ficam mais estáveis, ou seja, caem em energia. O orbital $6s$ sofre uma contração marcante, e os dois elétrons $6s$ acabam puxados para muito perto do núcleo, fortemente presos àquele átomo individual. Como o subnível $6s$ ainda está completamente cheio, forma-se uma espécie de “par inerte”. Devido à forte contração relativística, o orbital $6s^2$ preenchido fica altamente estabilizado e não participa da ligação metálica (Calvo *et al.*, 2013).

O resultado é que esses elétrons quase não sobram para participar do mar metálico. A ligação entre átomos de mercúrio passa a vir principalmente de forças fracas de van der Waals, geradas por flutuações locais de carga nos átomos vizinhos, em vez do compartilhamento de elétrons (Calvo *et al.*, 2013). Uma introdução acessível aos tipos de ligação química e à formação de bandas de energia (conceitos como ligação metálica, o “mar” de elétrons e as bandas de valência e de condução, pouco usuais no ensino médio) pode ser consultada em Toma (1997). Não por acaso, o mercúrio se comporta com frequência mais como um gás inerte do que como um metal. Pouca coesão significa que basta pouca energia térmica para separar os átomos, e daí vem o ponto de fusão baixíssimo, de cerca de 39 graus negativos, que deixa o mercúrio líquido no dia a dia.

O detalhe que fecha o argumento é quantitativo. Em 2013, um grupo internacional liderado por Peter Schwerdtfeger usou simulações de Monte Carlo a partir de cálculos relativísticos para o dímero Hg_2 . Ao ignorar a relatividade nas contas, o ponto de fusão previsto do mercúrio era de 82 graus positivos; ao incluir os efeitos relativísticos, o resultado se aproximava bastante do valor experimental de 39 graus negativos (Calvo *et al.*, 2013). Em outras palavras, a temperatura de fusão do mercúrio é rebaixada em cerca de 105 K por causa dos efeitos relativísticos (Calvo *et al.*, 2013). Sem relatividade, o mercúrio seria um sólido firme à temperatura ambiente, como qualquer metal bem-comportado.

Vale notar o contraste com os vizinhos da mesma coluna. O cádmio funde a 321 graus e o zinco a 420 graus. Pela tendência da tabela periódica, ninguém esperaria que o mercúrio fosse líquido. Ele é a anomalia, e a relatividade é a explicação.

A bateria do carro: Einstein sob o capô

Agora a parte mais surpreendente. A bateria do automóvel é uma pilha de chumbo e ácido, que gera corrente por reações em que um eletrodo perde elétrons e o outro ganha. De um lado fica chumbo metálico (Pb); do outro, dióxido de chumbo (PbO_2). Cada célula entrega cerca de 2,1 volts.

De onde vêm esses 2,1 V? Em 2011, um grupo de pesquisadores refez as contas com e sem a relatividade. O resultado foi impressionante: cerca de 1,7 V dos 2,1 V vêm de efeitos relativísticos. Sem Einstein, sobriam só uns 0,4 V, voltagem de menos para girar o motor de partida. Daí a frase que ficou famosa: sem a relatividade, o carro não pegaria (Ahuja *et al.*, 2011).

Por que ela pesa tanto justo aqui? O chumbo tem 82 prótons, e seus elétrons internos também correm a quase 60% da velocidade da luz. O nível $6s$ encolhe e fica tão estável, tão “afundado”, que é difícil tirar esses elétrons de lá. Por isso o chumbo prefere ceder só dois elétrons em vez de quatro, o chamado efeito do par inerte, um comportamento que aparece também no tálio e no bismuto, e que os livros costumam mandar decorar sem explicar o porquê (Thayer, 2005). Essa lacuna no ensino, aliás, já vem sendo apontada como algo a corrigir desde a graduação (Das *et al.*, 2023). A explicação, no fundo, é a relatividade.

A jogada elegante da bateria é que cada eletrodo mexe com elétrons de níveis diferentes. No polo negativo, o chumbo perde elétrons de um nível que quase não sente a relatividade. No polo positivo, ao contrário, dois elétrons “caem” justamente naquele nível $6s$ afundado lá no fundo do poço de energia. Preencher um nível tão estável libera muita energia, como uma bola que despenca de uma altura bem maior, e é daí que sai quase toda a voltagem.

A prova de que a relatividade é a verdadeira responsável vem de uma comparação: o estanho fica logo acima do chumbo na tabela periódica e tem química parecida, mas é bem mais leve. Uma bateria feita de estanho daria uma voltagem muito menor (Ahuja *et al.*, 2011). Então, da próxima vez que você girar a chave e ouvir o motor pegar, lembre-se: está vendo a relatividade em ação, não nas estrelas, mas embaixo do capô.

E os átomos que mal existem?

Se a relatividade já mexe assim com elementos conhecidos, nos átomos superpesados ela manda no jogo. O copernício (112 prótons), logo abaixo do mercúrio, deve ser tão indiferente aos próprios vizinhos que se comportaria quase como um gás nobre líquido (Mewes *et al.*, 2019). Já o oganessônio (118 prótons), que pela tabela deveria ser um gás nobre inerte, é previsto como um sólido que conduz eletricidade só mais ou menos: nem nobre, nem gás (Smits *et al.*, 2020).

Como testar isso, se cada um desses átomos existe por uma fração de segundo? Fazendo química um átomo de cada vez. Já em 1970 um único átomo de rutherfordio foi guiado por uma coluna química em menos de um minuto, e hoje cientistas estudam átomos solitários observando, por exemplo, como eles grudam numa superfície de ouro (Eichler *et al.*, 2007).

No fim das contas, a relatividade está reescrevendo, em silêncio, as regras da tabela periódica que herdamos de Mendeleiev (Schwerdtfeger *et al.*, 2020). O invisível, aqui, não está no céu: está dentro de cada átomo.

A ilha de estabilidade: um oásis no mar da instabilidade

Fenômeno de Abertura: Quase todos os elementos superpesados desaparecem em milésimos de segundo. Mas, há mais de meio século, uma previsão teórica insiste em algo diferente: em algum ponto além da borda conhecida da tabela, certos átomos viveriam muitíssimo mais, talvez segundos, minutos, quem sabe muito mais. Os pesquisadores chamam essa região de “ilha de estabilidade”, e alcançá-la é um dos grandes sonhos da física nuclear; comparável a achar terra firme depois de meses de mar revolto (Giuliani et al., 2019).

Para entender a ilha, é preciso olhar para dentro do núcleo. Assim como os elétrons se organizam em camadas ao redor do átomo, os prótons e os nêutrons também se arrumam em camadas dentro do núcleo. Essa ideia, o modelo de camadas nucleares, rendeu o Prêmio Nobel a Maria Goeppert Mayer e Hans Jensen e explica um padrão curioso: quando o número de prótons ou de nêutrons completa exatamente uma camada, o núcleo fica especialmente estável. Esses valores especiais, 2, 8, 20, 28, 50, 82 e 126, são os “números mágicos” (Goeppert Mayer, 1949).

A comparação com os gases nobres é direta: assim como um átomo com a camada eletrônica completa é quimicamente inerte, um núcleo com número mágico de prótons ou de nêutrons é mais difícil de quebrar. Quando

Pelas regras que todo estudante aprende, o elemento 120 deveria ser o mais reativo dos metais alcalinoterrosos. Descendo o grupo 2, do berílio ao rádio, a reatividade aumenta: o cálcio reage com a água, o bário reage com vigor, o rádio mais ainda. Seguindo essa lógica, o elemento 120, logo abaixo do rádio, deveria reagir de forma quase explosiva.

os dois números são mágicos ao mesmo tempo, o núcleo é “duplamente mágico”. O chumbo-208, com 82 prótons e 126 nêutrons, é o núcleo duplamente mágico mais pesado ainda estável, e por isso o chumbo é o destino final de tantas cadeias radioativas. A ilha de estabilidade é a aposta de que existe o próximo número mágico de prótons muito além do chumbo (Figura 4). Os modelos discordam sobre qual seria: alguns apontam o 114, outros o 120, outros o 126, quase sempre combinados com 184 nêutrons (Schwerdtfeger et al., 2020).

É importante desfazer um mal-entendido comum: “ilha de estabilidade” não significa que esses elementos seriam eternos como o ferro. Eles continuariam radioativos. A diferença é de escala de tempo. E é aqui que o tema deixa de

ser apenas física nuclear e passa a interessar diretamente à Química. Se um isótopo do elemento 120 vivesse, digamos, segundos ou minutos em vez de microssegundos, seria possível, pela primeira vez, fazer química de verdade com ele: medir sua reatividade, ver se forma um óxido, um hidróxido, um fluoreto, e testar se ele realmente se comporta como o modelo prevê. A estabilidade

converteria o elemento 120 de um lampejo num detector em um objeto químico observável (Giuliani et al., 2019; Oganessian e Utyonkov, 2015).

O elemento 120 seria mesmo um metal alcalinoterroso?

Pelas regras que todo estudante aprende, o elemento 120 deveria ser o mais reativo dos metais alcalinoterrosos.

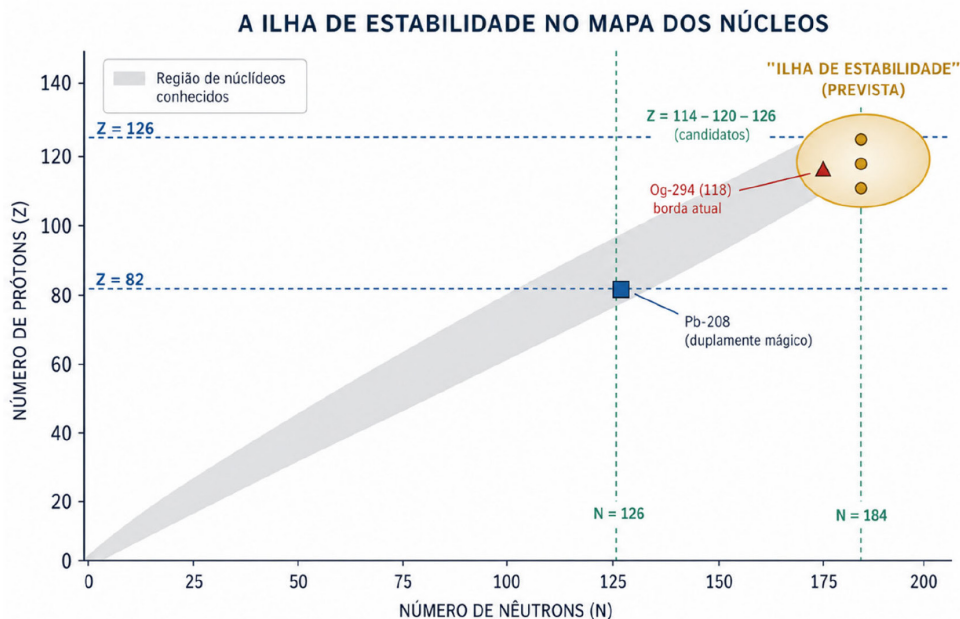


Figura 4: A ilha de estabilidade no mapa dos núcleos ($N \times Z$). As linhas tracejadas marcam os números mágicos de prótons ($Z = 82, 126$) e de nêutrons ($N = 126, 184$); o chumbo-208 é o último núcleo duplamente mágico estável. A região prevista de maior estabilidade situa-se em torno de $N = 184$, com Z entre 114 e 126. Fonte: Esquema elaborado pelos autores com base em Giuliani et al. (2019) e Schwerdtfeger et al. (2020).

Descendo o grupo 2, do berílio ao rádio, a reatividade aumenta: o cálcio reage com a água, o bário reage com vigor, o rádio mais ainda. Seguindo essa lógica, o elemento 120, logo abaixo do rádio, deveria reagir de forma quase explosiva. Os cálculos relativísticos, porém, preveem o contrário: ele seria menos reativo que o rádio e o bário, comportando-se mais como o cálcio ou o estrôncio, bem no meio do grupo (Schwerdtfeger *et al.*, 2020).

Pela configuração eletrônica prevista, [Og] 8s², o elemento 120 tem dois elétrons na camada mais externa do tipo s, exatamente como todos os metais alcalinoterrosos. Por isso ele ocupa, com plena legitimidade, a segunda casa do oitavo período, no bloco s, e é apelidado de “eka-rádio” (Thayer, 2005). Todavia, a relatividade contrai e estabiliza fortemente a camada 8s, tornando seus dois elétrons mais “presos” e mais difíceis de remover do que a simples extrapolação do grupo sugeriria. A consequência é notável: a energia necessária para arrancar o primeiro elétron do elemento 120 é prevista em torno de 6 elétron-volts, valor próximo ao do cálcio, e não menor que o do rádio como mandaria a tendência. Na prática, a relatividade inverte o sentido das tendências periódicas do grupo 2 a partir do bário (Schwerdtfeger *et al.*, 2020). Aquela seta mental “quanto mais embaixo, mais reativo”, tão útil no ensino médio, simplesmente para de valer ali.

Há ainda uma surpresa mais radical. Enquanto a camada 8s encolhe e “segura” seus elétrons, outras camadas próximas (de tipo p e d) se reorganizam e podem passar a participar de ligações. Por isso os cálculos relativísticos preveem que o elemento 120 possa acessar estados de oxidação mais altos que o usual +2, em particular o +4 e, segundo alguns desses cálculos, até o +6, algo desconhecido em qualquer outro metal alcalinoterroso, que na prática só faz +2 (Schwerdtfeger *et al.*, 2020). Convém frisar que se trata de previsões teóricas: como nenhum átomo do elemento 120 foi ainda sintetizado, esses estados não puderam ser observados experimentalmente. Seria como descobrir um membro da família que, apesar do mesmo sobrenome, segue as próprias regras. A imagem que melhor resume a situação talvez seja esta: o elemento 120 mantém seu assento no grupo 2, mas deixa de jogar pelas regras do grupo 2.

Esse caso ilustra uma lição mais profunda sobre a tabela periódica. A própria ordem de preenchimento das camadas, a regra de Madelung que organiza a tabela, começa a falhar no oitavo período, em que níveis de energia diferentes ficam tão próximos que a relatividade os embaralha (Pyykkö, 2011). A tabela peri-

ódica, que parece um monumento acabado na parede da sala de aula, revela-se uma construção cuja lógica precisa ser constantemente reexaminada, tema que a literatura de Educação Química trata como essencial para uma compreensão correta do sistema periódico (Schwarz e Rich, 2010).

É provável que, logo depois da chamada “ilha de estabilidade”, os núcleos se desfaçam tão rápido que nem dê tempo de medir sua existência. Ou seja, ninguém sabe ainda onde, nem como, a tabela periódica termina. E é justamente isso que a torna uma fronteira em aberto, e não um monumento já pronto e acabado

O elemento 120 está exatamente no portal onde essa lógica começa a se dissolver.

O limite final: até onde a tabela periódica pode ir?

Fenômeno de Abertura: Conta-se que o físico Richard Feynman fazia uma pergunta provocadora: existe um último elemento? Ele notou que, num cálculo simples, a velocidade do elétron mais interno cresce junto com o número de prótons. Em torno do elemento 137, esse cálculo devolve um resultado impossível: o elétron precisaria viajar mais rápido que a luz (BALL, 2024). Parecia que a tabela periódica não poderia existir além daí, embora análises mais rigorosas, que tratam o núcleo como um corpo de tamanho finito, situem esse limite por volta do elemento 173 (Fricke *et al.*, 1971; Greiner e Reinhardt, 2009).

Mas tem um problema nesse raciocínio. O cálculo se baseava no modelo de Bohr, uma imagem simples do átomo, com elétrons girando em torno do núcleo como planetas ao redor do Sol. Essa imagem funciona bem para ensinar, mas é grosseira demais para átomos tão gigantes. Quando usamos a ferramenta certa, a equação de Dirac, que junta a mecânica quântica com a teoria da relatividade de Einstein, a tal “barreira” não fica mais no elemento 137. Ela se desloca para perto do elemento 173. E aí acontece algo ainda mais estranho: o núcleo teria tantos prótons que seu campo elétrico ficaria intenso a ponto de o próprio vácuo deixar de ser estável, podendo criar partículas “do nada” (Dirac, 1928; Pyykkö, 2011).

Mesmo assim, existe uma ressalva honesta: talvez o núcleo entre em colapso antes dos elétrons. Em outras palavras, antes de o problema da velocidade aparecer, o núcleo pode simplesmente ficar pesado e instável demais para se manter inteiro. É provável que, logo depois da chamada «ilha de estabilidade», os núcleos se desfaçam tão rápido que nem dê tempo de medir sua existência. Ou seja, ninguém sabe ainda onde, nem como, a tabela periódica termina. E é justamente isso que a torna uma fronteira em aberto, e não um monumento já pronto e acabado (Giuliani *et al.*, 2019; Schwerdtfeger *et al.*, 2020).

Da fronteira à sala de aula: a BNCC, o Brasil e a literatura de ensino

Pode parecer que esse assunto pertence apenas a megalaboratórios distantes. Não é bem assim.

O Brasil tem, na Universidade de São Paulo, o acelerador Pelletron, a instalação de física nuclear com feixes de íons pesados mais importante da América Latina, em operação desde os anos 1970 e que recebe visitas guiadas de estudantes do ensino fundamental, médio e superior (Instituto de Física da USP, 2026). Mais importante que

a máquina, porém, é o que o tema ensina sobre o valor dos fundamentos: a relatividade, escrita para explicar o movimento de corpos velozes, acabou explicando a cor do ouro; o modelo de camadas, criado para entender a estabilidade dos núcleos, hoje guia a caça aos novos elementos.

A conexão com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é direta. A área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias organiza-se em torno de competências que pedem ao estudante analisar fenômenos e processos em termos de matéria e energia, inclusive processos nucleares e emissão de partículas (habilidade EM13CNT101), e discutir modelos e teorias propostos em diferentes épocas e culturas, comparando-os com o modelo atômico moderno (habilidade EM13CNT201). A trajetória que vai de Dalton e Bohr até a equação de Dirac e o modelo de camadas nucleares é, ela própria, um exercício dessa competência (Brasil, 2018). Mais ainda, a BNCC valoriza a interpretação de textos de divulgação científica que tratem de história e filosofia da ciência (habilidade EM13CNT303), e a corrida pelo elemento 120, amplamente noticiada, é material vivo para isso.

A literatura brasileira de ensino oferece pontos de apoio sólidos. A própria Química Nova na Escola, em sua seção Atualidades em Química, tem tradição de aproximar a pesquisa de fronteira da sala de aula (Garbellini e Rocha-Filho, 2015), incluindo discussões pioneiras sobre elementos superpesados e a nomenclatura dos novos elementos (Rocha-Filho, 1997). A história da síntese dos elementos transurânicos e da extensão da tabela foi analisada como rica oportunidade de história da ciência no ensino (Flôr, 2009), e a própria Tabela Periódica tem sido objeto de estudos sobre estratégias de ensino e abordagem histórica (Tolentino *et al.*, 1997; Ferreira *et al.*, 2016).

Na literatura internacional, o *Journal of Chemical Education* há tempos defende que os efeitos relativísticos deveriam fazer parte do ensino, por serem indispensáveis para explicar as anomalias dos elementos pesados, como a cor do ouro e o comportamento dos elementos das últimas linhas da tabela (Thayer, 2005). O mesmo periódico discute como apresentar de forma correta a base teórica do sistema periódico, alertando para simplificações que se tornam incorretas justamente na região dos elementos pesados (Schwarz e Rich, 2010). E há um chamado explícito, em periódicos voltados ao professor, para que esse conteúdo deixe de ficar restrito aos artigos de pesquisa e chegue às salas de aula da graduação e da licenciatura (Das *et al.*, 2023).

Para o professor, a mensagem é prática e não exige reforma curricular nem laboratório sofisticado. Uma aula sobre propriedades periódicas pode começar pela pergunta “por que o ouro é dourado?”, antes de definir camadas eletrônicas. Uma aula sobre o átomo pode partir do lampejo de um elemento que vive um milésimo de segundo. E uma aula sobre tendências de grupo pode usar o elemento 120 como contraexemplo fértil: por que a regra “quanto mais embaixo, mais reativo” falharia justamente no caso mais extremo? Quando o fenômeno cria a pergunta, o conceito é a resposta.

Considerações finais

Este artigo organizou três eixos da fronteira entre Química e física da matéria, a corrida por novos elementos, a relatividade dentro do átomo e a ilha de estabilidade, em torno de uma estratégia didática: começar pelo fenômeno observável e só depois revelar o mecanismo invisível (Faraday, 2007). Os três eixos convergem no elemento 120, um caso especialmente instrutivo porque mostra que a tabela periódica não é um monumento concluído. Esse novo metal mantém seu lugar no grupo 2 pela configuração eletrônica, mas a relatividade inverte as tendências do grupo e lhe confere estados de oxidação que nenhum outro alcalinoterroso possui: ele fica no grupo, mas foge às regras do grupo.

A fronteira científica, portanto, não dispensa os fundamentos do ensino médio, ela os exige. Compreender por que o elemento 120 surpreenderia depende de entender configuração eletrônica, energia de ionização, propriedades periódicas e radioatividade, exatamente os conteúdos da BNCC. Os fenômenos são reais, as perguntas estão abertas, e formar quem irá respondê-las, com boa Química clássica e acesso à divulgação científica de qualidade, começa agora.

Iterlandes Machado Junior (iterlandes.junior@ufv.br) é licenciado em Química pela Universidade de Uberaba, com especialização em Educação Ambiental pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá, mestre e doutor em Química pela Universidade Federal de Viçosa, com período sanduíche na University of Warwick, junto ao Richard Walton Research Group. Atualmente é técnico-administrativo em Educação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, Brasil. **Gabriel Henrique Sperandio** (gabriel.sperandio@ufv.br) é bacharel em Química pela Universidade Federal de Juiz de Fora, mestre e doutor em Química pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é professor no CAP-Coluni (Colégio de Aplicação) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, Brasil.

Referências

- AHUJA, R.; BLOMQVIST, A.; LARSSON, P.; PYYKKÖ, P. e ZALESKI-EJGIERD, P. Relativity and the lead-acid battery. *Physical Review Letters*, v. 106, n. 1, p. 018301.01-018301.04, 2011.
- BALL, P. Untriseptium. *Chemistry World*. Disponível em: <https://www.chemistryworld.com/opinion/untriseptium/3005076.article>, acesso em: mai. 2026.
- BOHR, N. On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, v. 26, p. 1-25, 1913.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/arquivos/bncc_ensino_medio.pdf, acesso em: set. 2026.
- CALVO, F.; PAHL, E.; WORMIT, M. e SCHWERTDFEGER, P. Evidence for low-temperature melting of mercury owing to relativity. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 52, n. 29, p. 7583-7585, 2013.
- DAS, A.; DAS, U.; DAS, R. e DAS, A. K. Relativistic effects on the chemistry of heavier elements: why not given proper importance in chemistry education at the undergraduate and postgraduate level? *Chemistry Teacher International*, v. 5, n. 4, p. 365-378, 2023.

DIRAC, P. A. M. The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London A*, v. 117, n. 778, p. 610-624, 1928.

EICHLER, R.; AKSENOV, N. V.; BELOZEROV, A. V.; BOZHIKOV, G. A.; CHEPIGIN, V. I.; DMITRIEV, S. N.; DRESSLER, R.; GÄGGELER, H. W.; GORSHKOV, V. A.; HAENSSLER, F.; ITKIS, M. G.; LAUBE, A.; LEBEDEV, V. Ya.; MALYSHEV, O. N.; OGANESSIAN, Y. T.; PETRUSHKIN, O. V.; PIGUET, D.; RASMUSSEN, P.; SHISHKIN, S. V.; SHUTOV, A. V.; SVIRIKHIN, A. I.; TERESHATOV, E. E.; VOSTOKIN, G. K.; WEGRZECKI, M. e YEREMIN, A. V. Chemical characterization of element 112. *Nature*, v. 447, p. 72-75, 2007.

FARADAY, M. *A história química de uma vela: as forças da matéria*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

FERREIRA, L. H.; CORREA, K. C. S. e DUTRA, J. L. Análise das estratégias de ensino utilizadas para o ensino da Tabela Periódica. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 4, p. 349-359, 2016.

FLÔR, C. C. A história da síntese de elementos transurânicos e extensão da tabela periódica numa perspectiva fleckiana. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 4, p. 246-250, 2009.

FRICKE, B.; GREINER, W. e WABER, J. T. The continuation of the periodic table up to $Z = 172$: the chemistry of superheavy elements. *Theoretica Chimica Acta*, v. 21, n. 3, p. 235-260, 1971.

GARBELLINI, G. S. e ROCHA-FILHO, R. C. Dos elementos químicos à inovação científica e tecnológica: contribuições das seções Elemento Químico e Atualidades em Química. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. esp. 2, p. 172-177, 2015.

GATES, J. M.; ORFORD, R.; RUDOLPH, D.; APPLETON, C.; BARRIOS, B. M.; BENITEZ, J. Y.; BORDEAU, M.; BOTHA, W.; CAMPBELL, C. M.; CHADDERTON, J.; CHEMEY, A. T.; CLARK, R. M.; CRAWFORD, H. L.; DESPOTOPULOS, J. D.; DORVAUX, O.; ESKER, N. E.; FALLON, P.; FOLDEN III, C. M.; GALL, B. J. P.; GARCIA, F. H.; GOLUBEV, P.; GOODING, J. A.; GREBO, M.; GREGORICH, K. E.; GUERRERO, M.; HENDERSON, R. A.; HERZBERG, R.-D.; HRABAR, Y.; KING, T. T.; COVO, M. K.; KIRKLAND, A. S.; KRÜCKEN, R.; LEISTENSCHNEIDER, E.; LYKIARDOPOULOU, E. M.; MCCARTHY, M.; MILDON, J. A.; MÜLLER-GATERMANN, C.; PHAIR, L.; PORE, J. L.; RICE, E.; RYKACZEWSKI, K. P.; SAMMIS, B. N.; SARMIENTO, L. G.; SEWERYNIAK, D.; SHARP, D. K.; SINJARI, A.; STEINEGGER, P.; STOYER, M. A.; SZORNEL, J. M.; THOMAS, K.; TODD, D. S.; VO, P.; WATSON, V. e WOODDY, P. T. Toward the discovery of new elements: production of livermorium ($Z = 116$) with ^{50}Ti . *Physical Review Letters*, v. 133, n. 17, art. 172502, p. 172502.1-172502-8, 2024.

GIULIANI, S. A.; MATHESON, Z.; NAZAREWICZ, W.; OLSEN, E.; REINHARD, P.-G.; SADHUKHAN, J.; SCHUETRUMPF, B.; SCHUNCK, N. e SCHWERDTFEGGER,

P. Colloquium: Superheavy elements: Oganesson and beyond. *Reviews of Modern Physics*, v. 91, n. 1, p. 011001.1-011001.25, 2019.

GOEPPERT MAYER, M. On closed shells in nuclei. II. *Physical Review*, v. 75, n. 12, p. 1969-1970, 1949.

GREINER, W. e REINHARDT, J. *Quantum Electrodynamics*. 4ª ed. Berlin: Springer, 2009.

INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Laboratório Aberto de Física Nuclear: o acelerador Pelletron*. São Paulo: IFUSP, 2026. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/fnc>, acesso em: mai. 2026.

MENDELEIEV, D. I. Über die beziehungen der eigenschaften zu den atomgewichten der elemente. *Zeitschrift für Chemie*, v. 12, p. 405-406, 1869.

MEWES, J.-M.; SMITS, O. R.; KRESSE, G. e SCHWERDTFEGGER, P. Copernicium is a relativistic noble liquid. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 58, n. 50, p. 17964-17968, 2019.

OGANESSIAN, Y. T. e UTYONKOV, V. K. Super-heavy element research. *Reports on Progress in Physics*, v. 78, n. 3, p. 036301, 2015.

PYYKKÖ, P. A suggested periodic table up to $Z \leq 172$, based on Dirac-Fock calculations on atoms and ions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 13, n. 1, p. 161-168, 2011.

PYYKKÖ, P. Relativistic effects in chemistry: more common than you thought. *Annual Review of Physical Chemistry*, v. 63, p. 45-64, 2012.

ROCHA-FILHO, R. C. Antimatéria: novidades nos elementos superpesados e a obtenção do anti-hidrogênio. *Química Nova na Escola*, n. 5, p. 11-13, 1997.

SCHWARZ, W. H. E. e RICH, R. L. Theoretical basis and correct explanation of the periodic system: review and update. *Journal of Chemical Education*, v. 87, n. 4, p. 435-443, 2010.

SCHWERDTFEGGER, P.; SMITS, O. R. e PYYKKÖ, P. The periodic table and the physics that drives it. *Nature Reviews Chemistry*, v. 4, p. 359-380, 2020.

SMITS, O. R.; MEWES, J.-M.; JERABEK, P. e SCHWERDTFEGGER, P. Oganesson: a noble gas element that is neither noble nor a gas. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 59, n. 52, p. 23636-23640, 2020.

THAYER, J. S. Relativistic effects and the chemistry of the heaviest main-group elements. *Journal of Chemical Education*, v. 82, n. 11, p. 1721-1727, 2005.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. e CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos. *Química Nova*, v. 20, n. 1, p. 103-117, 1997.

TOMA, H. E. Ligação química: abordagem clássica ou quântica? *Química Nova na Escola*, n. 6, p. 8-12, 1997.

Abstract: *The Fundamental Limits of Matter: the island of stability, relativity within the atom, and the race for new chemical elements.* The search for new chemical elements is one of the most active frontiers in science, with laboratories in several countries competing to manufacture atoms that nature does not produce. Yet Chemistry teaching rarely connects its classical foundations to this frontier, especially to relativistic effects and the limits of the periodic table. This article brings the theme to secondary education through three axes, the race for new elements, relativity within the atom, and the island of stability, that converge on the element with atomic number 120. Starting from everyday phenomena like the color of gold, liquid mercury, and the car battery, the invisible mechanism behind each is revealed, in a phenomenon-first inversion inspired by Faraday. It is shown that element 120, although formally belonging to group 2, would not behave like a typical alkaline earth metal. Classical foundations are the substrate of the current frontier, a message proposed as a contribution to chemistry teaching.

Keywords: periodic table, superheavy elements, secondary education