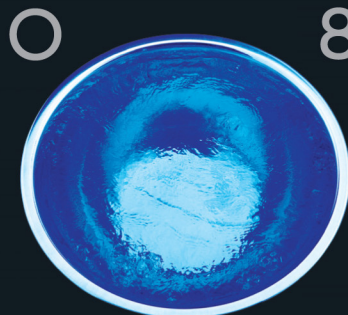


Carbono



Nitrogênio



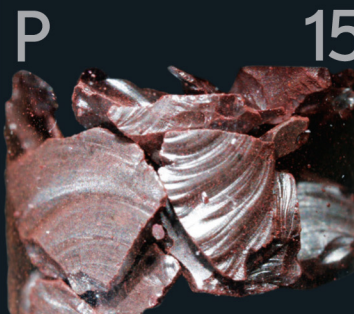
Oxigênio

THEODORE GRAY

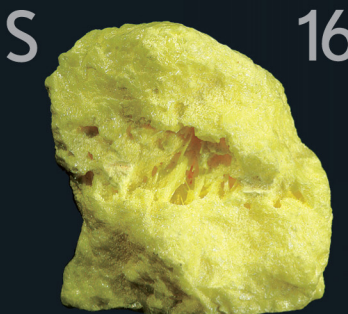
Fotografias de Theodore Gray e Nick Mann



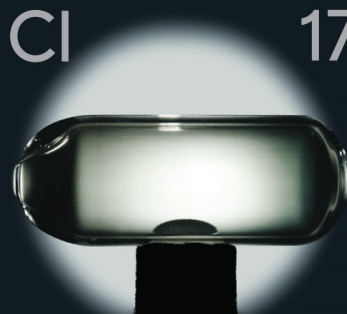
Silício



Fósforo



Enxofre



Cloro



Argônio



Germânio

Os Elementos

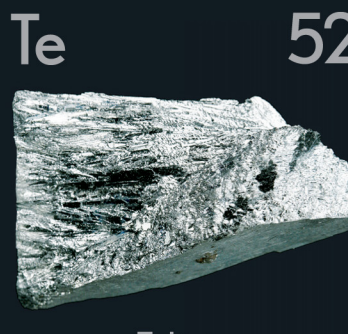
Uma Exploração Visual dos Átomos Conhecidos no Universo



Estanho



Antimônio



Telúrio



Iodo

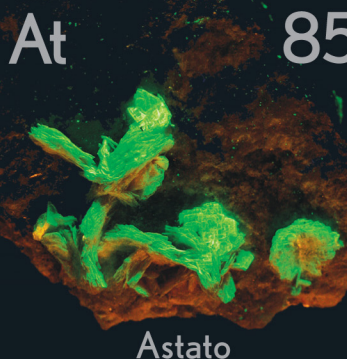


Xenônio

Blucher



Polônio



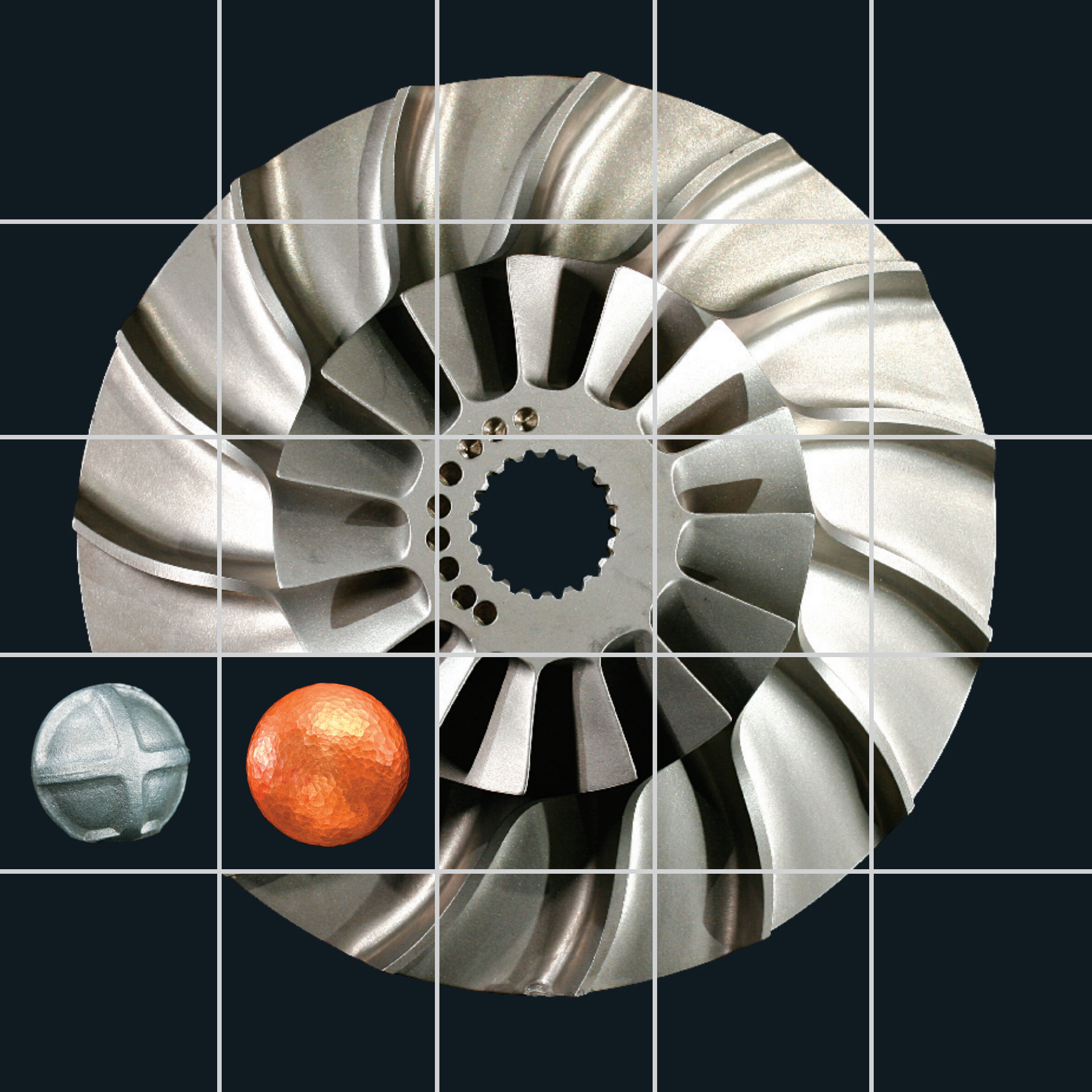
Astato



Radônio

S
o **Elementos**

THEODORE GRAY
Fotografias de Theodore Gray e Nick Mann





THEODORE GRAY Os Elementos

Uma Exploração Visual dos Átomos Conhecidos no Universo



Fotografias de
Theodore Gray
e Nick Mann

Blucher

Título original: *The Elements*
© 2009 by Theodore Gray
© 2011 Editora Edgard Blücher Ltda.



1ª edição – 2011
Editora Edgard Blücher

Edgard Blücher *Publisher*
Eduardo Blücher *Editor*
Fernando Alves *Editor de desenvolvimento*
Henrique E. Toma *Tradutor*

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do
Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa.
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Fax 55 11 3079 2707
Tel 55 11 3078 5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

FICHA CATALOGRÁFICA

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Índice para catálogo sistemático:
1. Elementos químicos: Química inorgânica

546

“Não há nada que não retorne ao nada, porém todas as coisas retornam dissolvidas em seus elementos.”

–Lucrécio, *De Rerum Natura*, 50 a.C.

A TABELA PERIÓDICA é um catálogo universal de tudo que você pode deixar cair sobre seus pés. Existem algumas coisas, como a luz, o amor, a lógica e o tempo, que não estão na tabela periódica. Porém, você não pode derrubar nenhuma delas sobre seus pés.

A Terra, este livro, seus pés – tudo o que é tangível – são feitos de elementos. Seus pés são feitos na maior parte por oxigênio, com um pouco de carbono ligando-o, dando estrutura às moléculas orgânicas que fazem de você um exemplo de vida baseada em carbono. (E, se você não for uma vida baseada em carbono, bem-vindo ao nosso planeta! Se você tem um pé, por favor, não derrube este livro sobre ele.)

O oxigênio é um gás limpo, incolor. No entanto, compõe cerca de 3/5 do peso de seu corpo. Como pode ser isso?

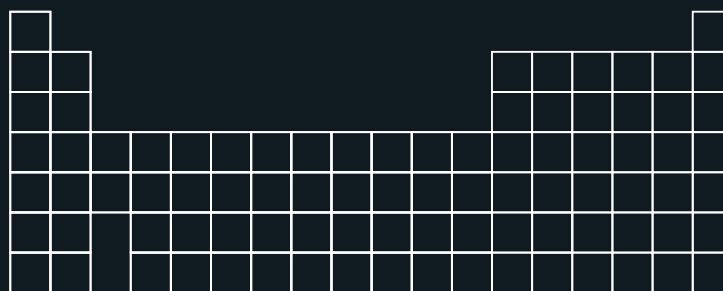
Os elementos possuem duas faces, representadas pelo seu estado puro e pela gama de compostos químicos que eles formam quando combinados a outros elementos. O oxigênio em estado puro é, de fato, um gás, mas quando reage com silício, formam juntos os minerais silicatos que compõem a maior parte da crosta terrestre. Quando o oxigênio é combinado com hidrogênio e carbono, o resultado pode ser qualquer coisa entre água, monóxido de carbono e açúcar.

Os átomos de oxigênio ainda estão presentes nesses compostos, não importa o quão diferentes do oxigênio puro essas substâncias aparentam ser. E os átomos de oxigênio podem sempre ser extraídos de volta e retornar à forma pura e gasosa.

Mas (exceto em desintegração nuclear) cada átomo de oxigênio nunca pode ser rompido ou dividido em algo mais simples. É essa propriedade de indivisibilidade que acaba definindo um elemento.

Neste livro, tento mostrar a você ambas as faces de cada elemento. Primeiro, você verá uma grande fotografia do elemento puro (sempre que isso for fisicamente possível). Na página seguinte, você verá exemplos de como aquele elemento encontra-se no mundo – compostos e aplicações que lhe são especialmente características.

Antes de abordar os elementos individualmente, vale a pena olhar a tabela periódica como um todo para ver como é composta.



57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

ESSES DOIS GRUPOS são conhecidos juntos como as *terras raras*, apesar do fato de que alguns deles não são nada raros. A fila superior, começando com o lantânio (57), é conhecida como *os lantanídeos*; e você não vai se surpreender ao descobrir que a fila de baixo, começando com o actínio (89), é conhecida como *os actinídeos*.

Conforme você lerá quando chegar ao lutécio (71), os lantanídeos são especialmente notórios por serem quimicamente parecidos uns com os outros. Alguns são tão similares que as pessoas debateram por anos se eles realmente deveriam ser elementos separados.

Todos os actinídeos são radioativos, mas o urânio e o plutônio são os mais famosos. A adição dos actinídeos ao *layout* padrão da tabela periódica foi feita por Glenn Seaborg, em grande parte porque ele foi o responsável pela descoberta de tantos novos elementos que uma nova fileira tornou-se necessária. (Apesar de novos elementos terem sido descobertos por muitas pessoas, Seaborg foi o único que precisou criar uma nova fileira para dispor todas as suas descobertas.)

Agora que vimos a tabela periódica como um todo e em partes, estamos prontos para começar nossa jornada pelo selvagem, lindo, movimentado, divertido e amedrontador mundo dos elementos.

Isso é tudo o que se tem. Daqui até Timbuktu, e incluindo Timbuktu, tudo em todos os lugares é feito de um ou mais desses elementos. A infinita variedade de combinações e recombinações que nós chamamos química começa e termina com essa curta e memorável lista, os blocos de concreto do mundo físico.

Quase tudo que você vê nesse livro está em algum lugar no meu escritório, exceto aquela única coisa que o FBI confiscou e alguns poucos objetos históricos. Eu me diverti muito coletando esses exemplares da vibrante diversidade dos elementos e espero que você se divirta tanto quanto eu ao ler sobre eles.

Até o hidrogênio!

Como a Tabela Periódica Adquiriu sua Forma

SEGURE-SE FIRME, nós vamos explicar mecânica quântica em uma página. (Se você achar essa seção muito técnica, sintá-se livre para pulá-la, não haverá uma prova no final.)

Todo elemento é definido por seu número atômico, o número de prótons carregados positivamente no núcleo de todos os átomos desse elemento. O número de prótons é igual a um mesmo número de elétrons de carga negativa, encontrados em “órbitas” ao redor do núcleo. Eu digo “órbitas” entre aspas porque os elétrons não estão se movendo de verdade em órbitas como os planetas se movem ao redor de uma estrela. Na realidade, você não pode nem mesmo dizer que eles estão se movendo.

Em vez disso, cada elétron descreve uma nuvem de probabilidade, pela possibilidade de estar mais em um lugar do que em outro, mas sem podermos dizer qual é esse lugar neste exato momento. As figuras abaixo mostram as várias formas tridimensionais das nuvens de probabilidade dos elétrons ao redor de um núcleo.

O primeiro tipo, chamado de orbital “s”, é totalmente simétrico – o elétron não tende a ir em nenhuma direção em particular. O segundo tipo, chamado orbital “p”, tem dois lóbulos, de modo que é mais provável que o elétron esteja

em um lado ou no outro do núcleo e menos provável que esteja em qualquer outra direção.

Enquanto existe apenas um tipo de orbital “s”, existem três tipos de orbitais “p”, com lóbulos apontando em três direções ortogonais (x, y, z) no espaço. Similarmente, existem cinco diferentes tipos de orbitais “d” e sete tipos diferentes de orbitais “f”, com aumento crescente do número de lóbulos. (Você pode pensar nessas formas como algo similar a ondas estacionárias tridimensionais.)

Cada forma de orbital pode existir em múltiplos tamanhos, por exemplo, o orbital 1s é uma pequena esfera, o orbital 2s é uma esfera maior, o 3s ainda maior, e assim por diante. A energia de um elétron colocado em qualquer orbital cresce conforme a órbita aumenta de tamanho. E todo o resto sendo igual, os elétrons sempre irão se acomodar nos menores orbitais, mais favorecidos energeticamente.*

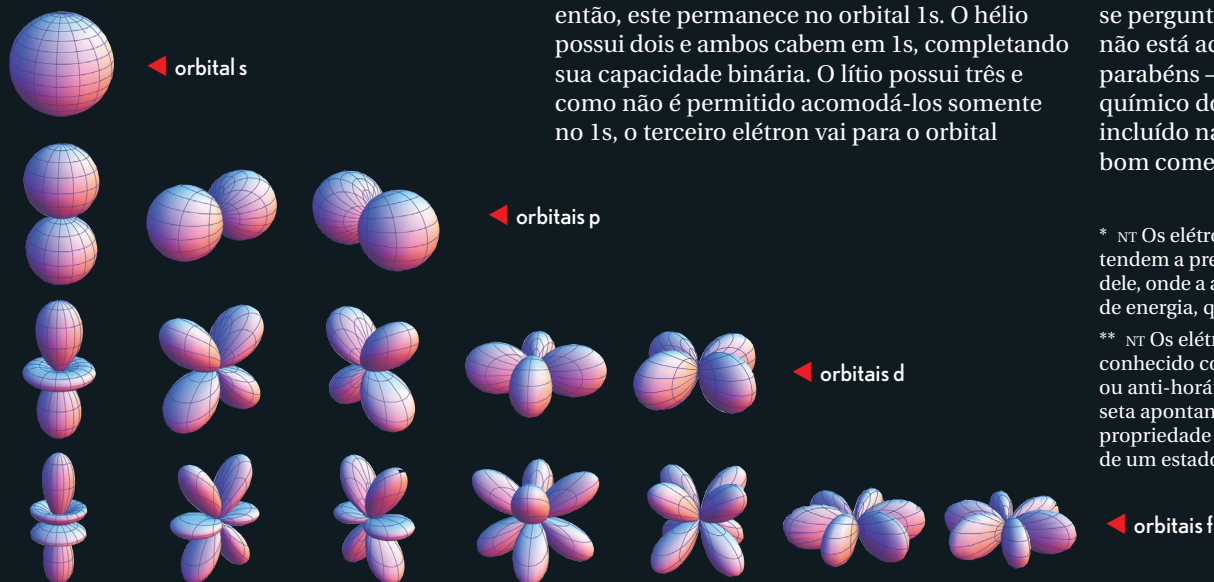
Então, todos os elétrons em um átomo ficam normalmente juntos no orbital de menor energia 1s? Não, e aqui está uma das descobertas mais fundamentais da mecânica quântica: duas partículas nunca podem coexistir em um mesmo estado quântico.** Assim, dois elétrons só podem permanecer em dado orbital se seus spins forem opostos.

O hidrogênio possui apenas um elétron, então, este permanece no orbital 1s. O hélio possui dois e ambos cabem em 1s, completando sua capacidade binária. O lítio possui três e como não é permitido acomodá-los somente no 1s, o terceiro elétron vai para o orbital

seguinte, 2s, de maior energia. E assim por diante – os orbitais vão sendo preenchidos um por um, em ordem crescente de energia.

Veja o diagrama de preenchimento de elétrons no lado direito da página de qualquer elemento nesse livro e você encontrará um gráfico com os possíveis orbitais de 1s a 7p, com uma barra vermelha indicando quais estão preenchidos por elétrons (7p é o orbital de maior energia disponível em qualquer elemento conhecido). A ordem exata em que os orbitais são preenchidos acaba sendo algo surpreendentemente sutil e complexo, mas você pode acompanhar esse preenchimento conforme vira as páginas deste livro. Preste atenção em especial por volta do elemento gadolínio (64) – se você está confiante que entendeu tudo, isso poderá ser abalado com o que verá por lá.

É essa ordem de preenchimento que determina a forma da tabela periódica. As primeiras duas colunas são ditadas pelos elétrons que preenchem os orbitais “s”. As próximas dez têm elétrons preenchendo os 5 orbitais “d”. As últimas seis envolvem elétrons preenchendo os três orbitais “p”. E finalmente, mas não menos importante, os 15 elementos de terras raras têm elétrons colocados nos sete orbitais “f”. (Se você está se perguntando por que o hélio (elemento 2) não está acima do berílio (elemento 4), parabéns – você está pensando mais como um químico do que um físico. O livro de Eric Scerri, incluído nas referências bibliográficas, é um bom começo para responder tal pergunta.



* NT Os elétrons são fortemente atraídos pelo núcleo, e tendem a preencher primeiro os orbitais mais próximos dele, onde a atração é maior. Isso provoca um decréscimo de energia, que dá maior estabilidade ao sistema.

** NT Os elétrons apresentam um movimento de rotação conhecido como “spin”, que pode ser no sentido horário ou anti-horário; sua representação é feita por uma seta apontando para cima ou para baixo. Sendo uma propriedade fundamental, o spin entra na composição de um estado quântico.

Elemental

Tudo que você precisa saber. E nada do que não precisa.

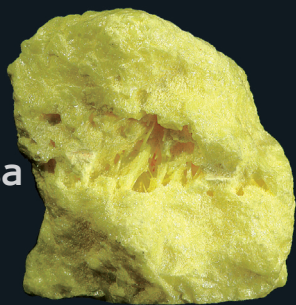
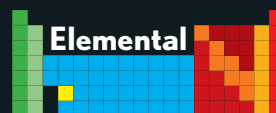
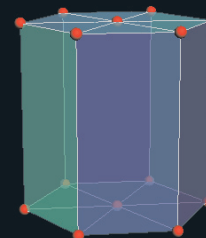


TABELA DE NAVEGAÇÃO

A minitabela em cada página com um elemento tem um quadrado amarelo para mostrar onde o elemento está localizado na tabela periódica. As cores dividem a tabela nos grupos descritos nas páginas anteriores.



Peso Atômico
178,49
Densidade
13,310
Raio Atômico
208pm
Estrutura Cristalina



PESO ATÔMICO (OU MASSA ATÔMICA)

O peso atômico de um elemento (não deve ser confundido com o número atômico) é a média do peso por átomo em uma amostra típica do elemento, expressa em unidade de massa atômica. Essa unidade é definida como 1/12 da massa de um átomo de ¹²C. Falando coloquialmente, uma unidade de massa atômica equivale à massa de um próton ou de um nêutron e, portanto, a massa atômica de um elemento é aproximadamente igual ao total do número de prótons e nêutrons em seu núcleo.

Contudo, você notará que a massa atômica de alguns elementos está dada por números inteiros. Quando amostras típicas de um elemento contêm dois ou mais isótopos, a média de seu peso explica o número de massa fracionário. (Isótopos são explicados mais detalhadamente na página do elemento protactínio, 91; a ideia básica é que os isótopos de um elemento possuem o mesmo número de prótons e, portanto, o mesmo número de elétrons e a mesma química, mas diferem no número de nêutrons presentes em seus núcleos.)

DENSIDADE

A densidade de um elemento é definida como aquela idealizada para um único cristal, hipoteticamente sem falhas, desse elemento absolutamente puro. Isso jamais poderá ser alcançado na prática, de modo que as densidades são normalmente calculadas por uma combinação do peso atômico e medidas cristalográficas, por raios X, dos espaços entre os átomos em cristais. A densidade é dada na unidade de gramas por centímetro cúbico.

RAIO ATÔMICO

A densidade de um material depende de duas coisas: quanto cada átomo pesa e quanto espaço cada átomo ocupa. O raio atômico mostrado para cada elemento é a média calculada da distância do elétron mais distante do núcleo em picômetros (um trilionésimo do metro). Os diagramas são meramente esquemáticos – eles representam todos os elétrons em suas respectivas camadas, com o tamanho global batendo com o tamanho do átomo, mas a posição dos elétrons individuais não está em escala. A referência tracejada em azul mostra o raio do maior de todos os átomos, o Césio (55).

ESTRUTURA CRISTALINA

O diagrama da estrutura cristalina mostra o arranjo dos átomos (a unidade que é repetida para se formar todo o cristal) quando um elemento está em sua forma cristalina mais pura e comum. Para elementos que normalmente estão em estado líquido ou gasoso, esta é a forma cristalina que eles assumem quando esfriados o suficiente para atingir seu estado sólido.

ORDEM DE PREENCHIMENTO DOS ELÉTRONS

Esse diagrama mostra a ordem com que os elétrons estão preenchendo os orbitais dos átomos, conforme foi explicado na página anterior.

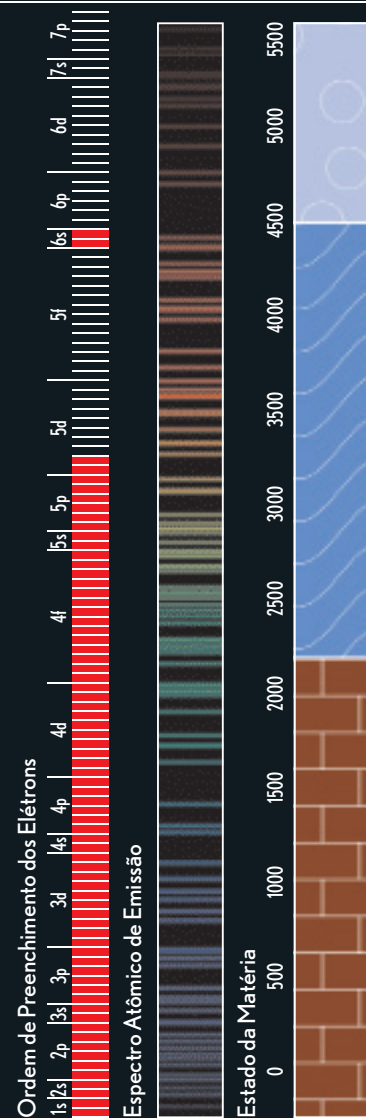


ESPECTRO ATÔMICO DE EMISSÃO

Quando os átomos de um dado elemento são aquecidos a temperaturas muito altas, eles emitem luz de comprimento de onda ou cores características, que correspondem aos diferentes níveis de energia entre os elétrons nos orbitais. Esse diagrama mostra as cores dessas linhas, cada uma correspondendo a uma diferença de nível em particular, organizada em um espectro que vai, na parte superior, do vermelho quase invisível até o ultravioleta, embaixo.

ESTADO DA MATÉRIA

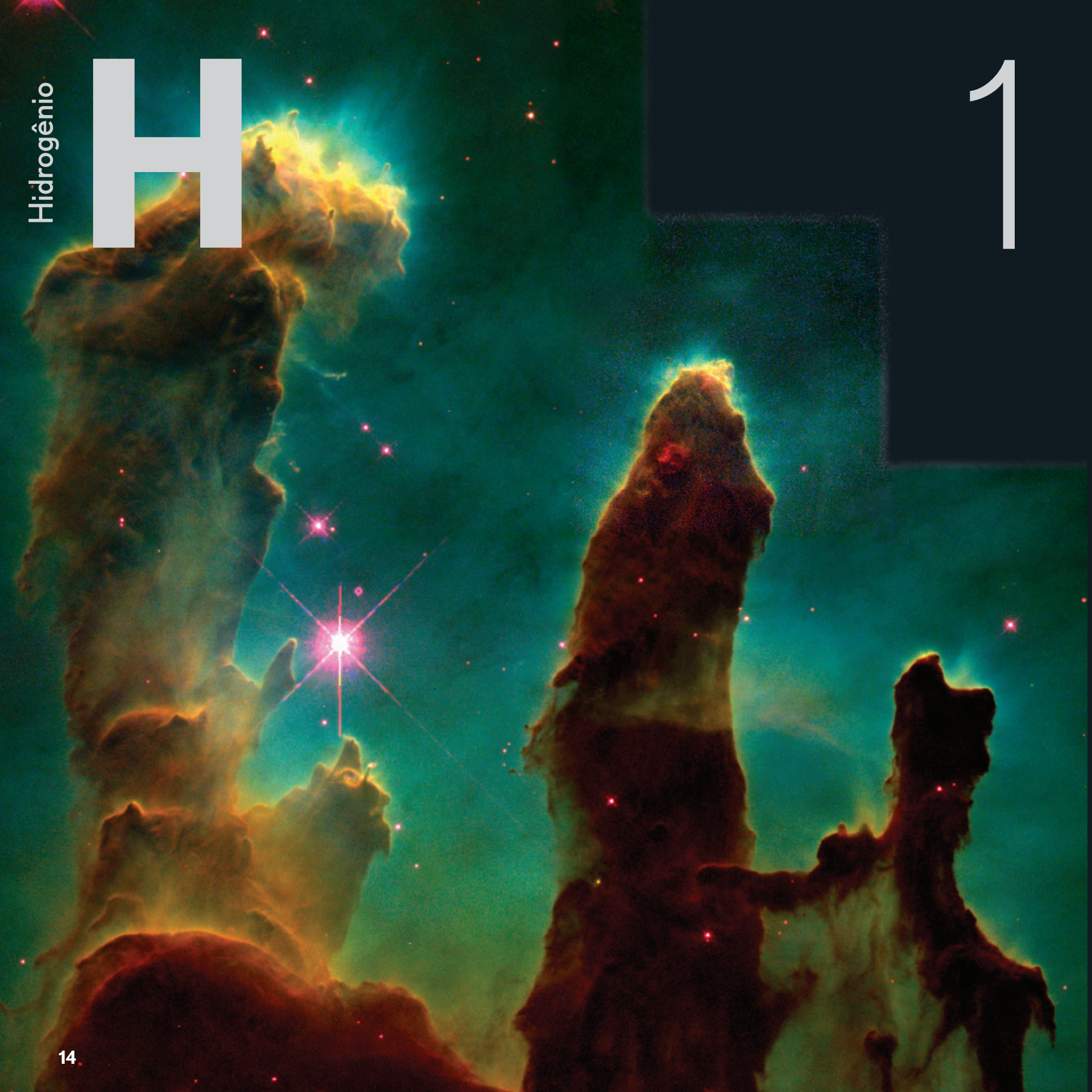
Essa escala de temperatura em graus Celsius mostra as temperaturas em que o elemento é sólido, líquido ou gasoso. A interface entre o sólido e o líquido é o ponto de fusão, entre o líquido e o gás é o ponto de ebulição. Aplique uma defasagem, esparramando as páginas do livro (como em um leque), e você verá um gráfico dos pontos de fusão e ebulição, com suas tendências bem pronunciadas ao longo da tabela periódica.



Hidrogênio

H

1



Hidrogênio

AS ESTRELAS BRILHAM PORQUE são vastas quantidades de hidrogênio transformando-se em hélio. Nosso Sol consome sozinho seiscentos milhões de toneladas de hidrogênio por segundo, convertendo-os em quinhentos e noventa e seis milhões de toneladas de hélio. Pense a respeito: seiscentos milhões de toneladas *por segundo*. Mesmo de noite.

E para onde vão os outros quatro milhões por segundo? São convertidos em energia de acordo com a famosa fórmula de Einstein, $E = mc^2$. Cerca de 1,6 quilograma por segundo chega à Terra, onde forma a luz da alvorada, o calor de uma tarde de verão e o brilho vermelho do pôr do Sol.

O feroz consumo de hidrogênio do Sol sustenta todos nós, mas a importância do hidrogênio para a vida como a conhecemos começa mais perto da nossa casa. Junto com o oxigênio, ele forma as nuvens, oceanos, lagos e rios. Combinado com carbono (6), nitrogênio (7) e oxigênio (8),

ele une o corpo e o sangue de todas as coisas vivas.

O hidrogênio é o mais leve de todos os gases – até mesmo mais que o hélio – e muito mais barato, o que explica seu uso nos primeiros veículos aéreos como o *Hindenburg*. Você deve ter ouvido falar sobre o que aconteceu; mas, por uma questão de justiça, deixemos claro que as pessoas, na realidade, morreram por causa da queda e não por terem sido queimadas pelo hidrogênio. De certa forma, o hidrogênio é menos perigoso em um veículo do que a gasolina.

O hidrogênio é o elemento mais abundante e mais leve, e também o mais amado pelos físicos, pois, com apenas um próton e um elétron, suas adoráveis fórmulas da mecânica quântica funcionam perfeitamente com ele. A partir do momento em que você chega ao hélio, com dois prótons e dois elétrons, os físicos ficam agitados e deixam os químicos lidarem com ela.

▶ O mineral esolecita, $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, de Puna, Jalgaon, Índia.



Peso Atômico

1,00794

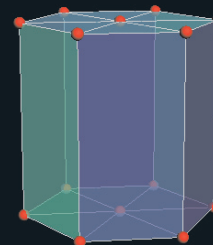
Densidade

0,0000899

Raio Atômico

53pm

Estrutura Cristalina



◀ Luminária com trítio (^3H), ilegal nos EUA por ser considerada um uso frívolo desse material estratégico.

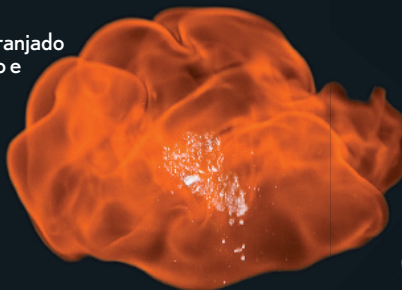


▶ O brilho vermelho-alaranjado de uma chama de oxigênio e hidrogênio.

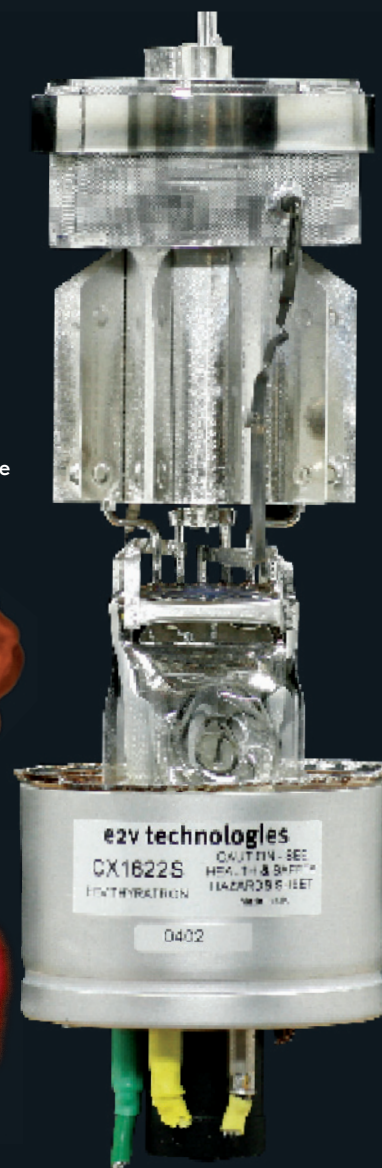
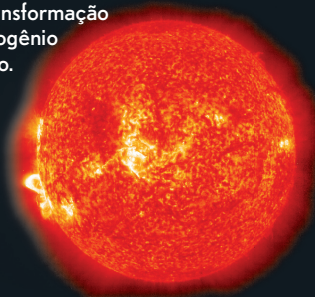


▲ Relógios de trítio que, por sua vez, são legais nos EUA.

▶ O interior de um *thyatron* de alta velocidade, um tipo de botão eletrônico preenchido por uma pequena quantidade de gás hidrogênio.



▶ O sol funciona pela transformação de hidrogênio em hélio.



◀ Em relação ao peso, 75% de todo o universo visível é hidrogênio. Ordinariamente, é um gás incolor, mas vastas quantidades no espaço absorvem a luz das estrelas, criando vistas espetaculares como a nebulosa da águia, reproduzida aqui pelo telescópio espacial Hubble.

Hélio



Hélio

O HÉLIO recebeu esse nome em homenagem ao deus grego do sol, Helios, porque as primeiras pistas de sua existência foram linhas escuras no espectro da luz do sol que não podiam ser explicadas pela presença de nenhum elemento conhecido na época.

Pode parecer um paradoxo que um elemento comum o bastante para encher balões tenha sido um dos primeiros elementos descobertos no espaço. A razão disso é que o hélio é um dos gases nobres, assim chamados por não interagirem com os elementos mais comuns, permanecendo inerte e indiferente à maioria das ligações químicas. Por não reagir, o hélio não pode ser facilmente detectado pelos métodos químicos convencionais.

Como alternativa para o hidrogênio em aeronaves, o hélio, que é completamente não inflamável, é muito recomendável. O grande problema é ser muito mais caro

e ter menor capacidade de subir. Alguém quer passear em um modelo menos competitivo?

O hélio que usamos hoje é extraído do gás natural assim que ele sai da superfície terrestre. Porém, ao contrário de todos os outros elementos estáveis, ele não foi depositado lá quando a Terra foi formada. Em vez disso, ele se formou, com o tempo, pelo decaimento radioativo do urânio (92) e tório (90). Esses elementos decaem por emissão de partículas alfa, que é simplesmente um nome que os físicos dão para o núcleo de um átomo de hélio. Assim, quando você enche um balão de festa, você o preenche com átomos que há apenas algumas dezenas ou centenas de milhões de anos foram prótons e nêutrons, ao acaso, em grandes núcleos de átomos radioativos. Sinceramente, isso parece estranho; porém, não tão estranho quanto a forma como o lítio atua em sua mente.

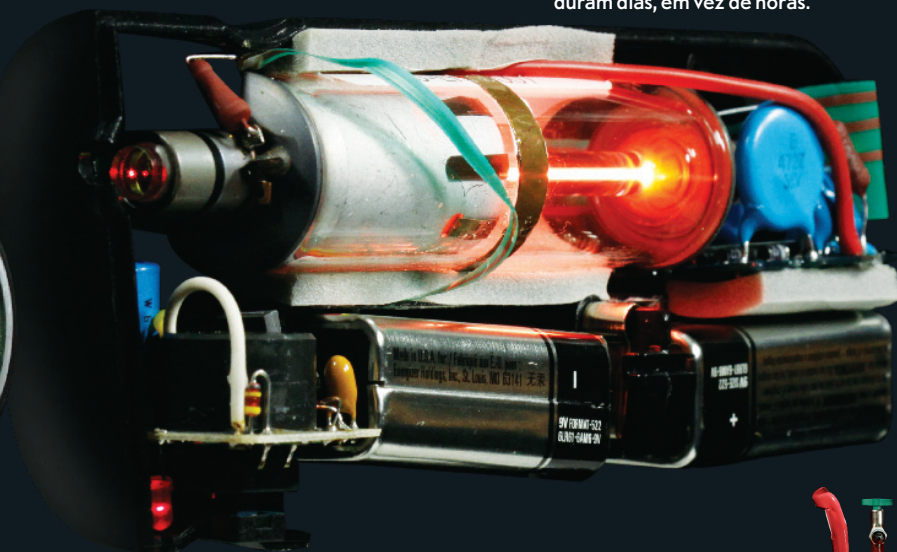


▲ Os balões de festa feitos de látex e preenchidos com hélio não duram muito, pois o pequeno átomo escapa rapidamente. Balões de *mylar* metalizado duram dias, em vez de horas.



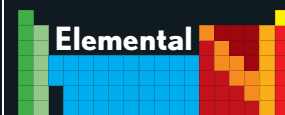
◀ O hélio puro é um gás invisível, como essa antiga amostra dentro da ampola.

◀ Embora seja um gás incolor e inerte, o hélio brilha com uma cor de pêssego quando uma corrente elétrica passa por ele.



▲ O característico brilho cor de pêssego do hélio é visível pela abertura lateral desse laser de hélio-neônio. A luz do laser que sai pela frente é um neônio vermelho.

▶ Tanques de hélio descartáveis estão disponíveis em lojas de suprimentos festivos, mas, frequentemente, contêm oxigênio para prevenir que crianças sejam asfixiadas caso o inalem.



Peso Atômico

4,002602

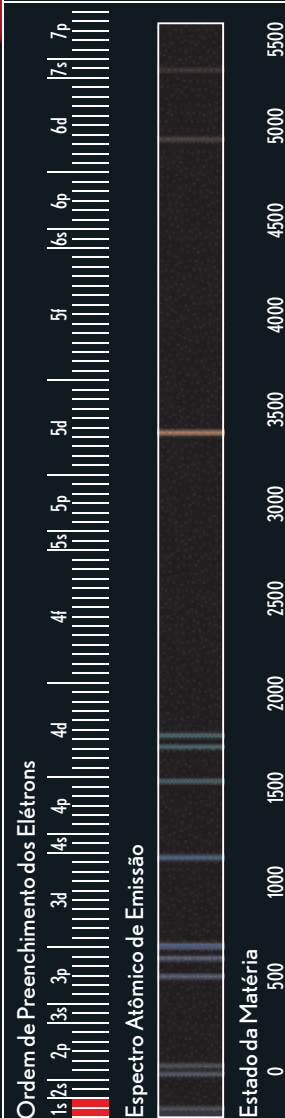
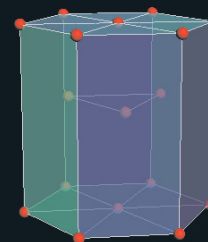
Densidade

0,0001785

Raio Atômico

31pm

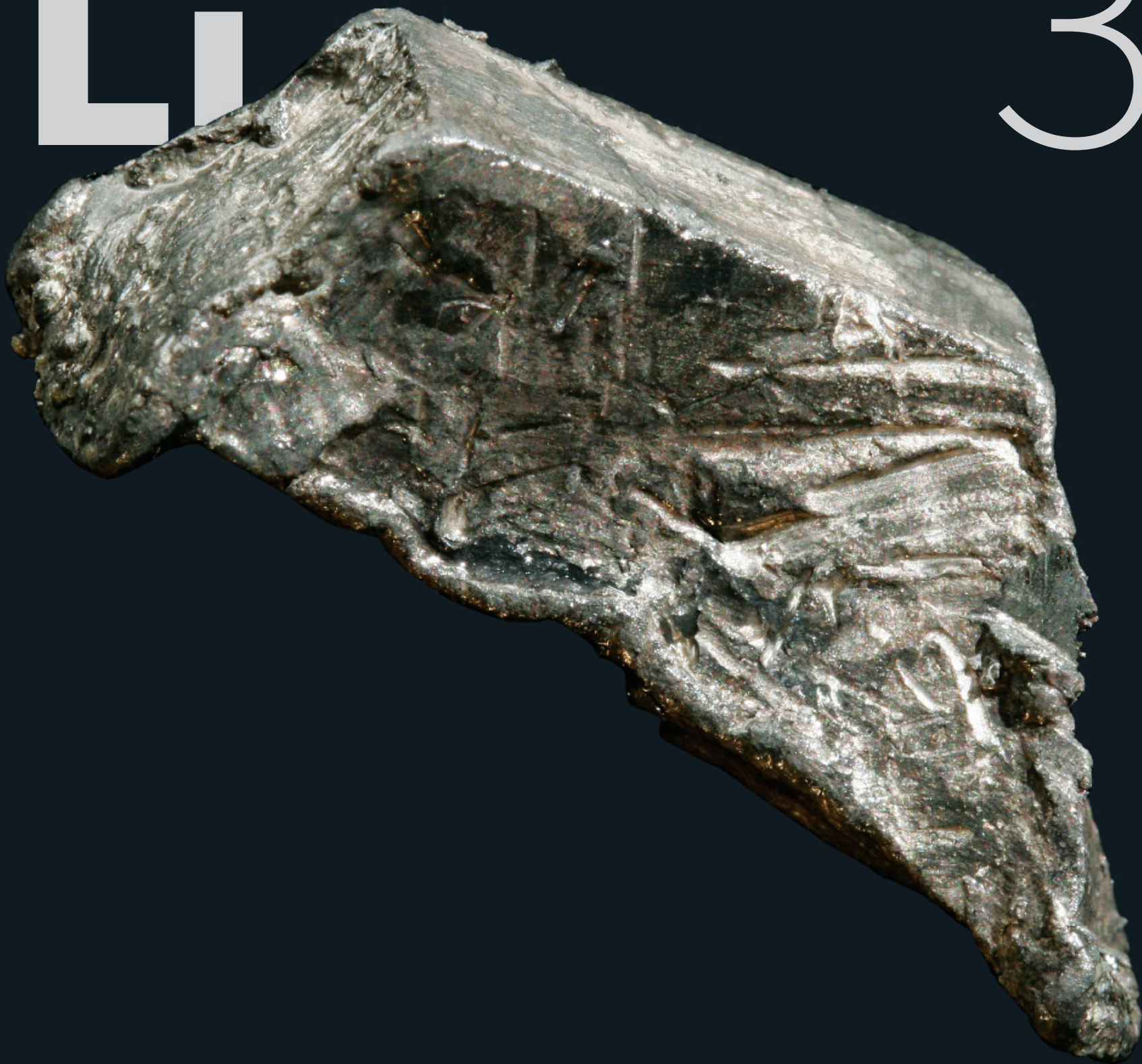
Estrutura Cristalina



Lítio

Li

3



Lítio

O LÍTIÓ É um metal muito leve e mole. Tão leve que boia na água, algo que apenas outro metal consegue fazer, o sódio (11). Enquanto boia na água, o lítio reage com ela e libera gás hidrogênio em taxa constante e moderada. (A diversão de verdade, nesse departamento, só começa com o sódio.)

Apesar de sua natureza reativa, o lítio é largamente usado em produtos de consumo. O metal lítio está presente dentro de baterias de íons de lítio que fornecem energia a incontáveis aparelhos, de marca-passos até carros, incluindo o *laptop* com que estou digitando esse texto. Baterias de íons de lítio armazenam uma tremenda quantidade de energia em pouco peso, em parte devido à baixa densidade do lítio. O estearato de lítio também é usado na popular graxa de lítio, encontrada em carros, caminhões e mecânicas.

Pessoas que prestam atenção a essas coisas notaram um fato interessante: existe

apenas um lugar no mundo com realmente uma grande quantidade de lítio facilmente recuperável. Se algum dia os carros elétricos sustentados por baterias de íons de lítio tornarem-se muito comuns, você deve ficar de olho na Bolívia.

O íon de lítio tem ainda outra carta na manga. Ele mantém as pessoas em um estado emocional balanceado. Por razões que são apenas vagamente compreendidas, uma dose regular de carbonato de lítio (que é dissolvido, gerando íons de lítio em nosso corpo) torna mais suaves as mudanças de humor do transtorno bipolar. Que um simples elemento possa ter tal efeito na mente é uma prova de como até mesmo um fenômeno complexo, como as emoções humanas, estão à mercê da química básica.

O lítio é mole, reativo e ajuda a manter as coisas balanceadas. Já o berílio, bem, digamos que seja algo diferente.

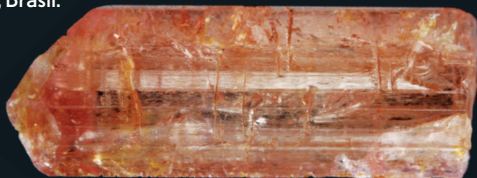
▶ As pílulas de carbonato de lítio controlam mudanças de humor.



▶ A graxa contém estearato de lítio para melhorar sua performance.



▼ O mineral elbaíta, $\text{Na}(\text{LiAl})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$, de Minas Gerais, Brasil.



◀ O lítio é mole o suficiente para ser cortado com uma tesoura comum, o que deixa marcas como as que você vê nessa amostra do metal puro.



▲ Baterias de lítio podem ser exóticas, como a bateria de marca-passos acima, ou comuns, como as pilhas tipo AA padrões, com células descartáveis de lítio.



Peso Atômico

6,941

Densidade

0,535

Raio Atômico

167pm

Estrutura Cristalina

