

2.8 Nomenclatura de compostos inorgânicos

Para encontrar informações sobre determinada substância, você tem de saber sua fórmula química e seu nome. Os nomes e fórmulas dos compostos são linguagens essenciais na química. O ato de dar nome às substâncias é chamado **nomenclatura química**, das palavras latinas *nomen* (nomes) e *calare* (chamar).

Existem atualmente mais de 19 milhões de substâncias químicas conhecidas. Dar nome a todas elas seria uma tarefa desesperadamente complicada se cada uma tivesse um nome independente das outras. Muitas substâncias importantes conhecidas há muitos anos, como a água (H_2O) e a amônia (NH_3), têm nomes tradicionais e individuais (conhecidos como nomes “comuns”). Para a maioria das substâncias, entretanto, contamos com um conjunto de regras sistemáticas que conduzem a um nome informativo e único para cada substância, baseado em sua composição.

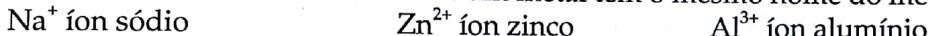
As regras para a nomenclatura química baseiam-se na divisão das substâncias em diferentes categorias. A principal é entre compostos orgânicos e inorgânicos. *Compostos orgânicos* contêm carbono, em geral combinados com hidrogênio, oxigênio, nitrogênio ou enxofre. Todos os outros são *compostos inorgânicos*. Os químicos mais antigos associavam os compostos orgânicos a plantas e animais, e os compostos inorgânicos a matérias sem vida, presentes no universo. Apesar dessa distinção entre matéria viva e sem vida não ser mais pertinente, a classificação entre compostos orgânicos e inorgânicos continua sendo útil. Nesta seção abordaremos as regras básicas para dar nomes aos compostos inorgânicos. Entre eles abordaremos três categorias de substâncias: compostos iônicos, compostos moleculares e ácidos. Apresentaremos também os nomes de alguns compostos orgânicos simples na Seção 2.9.

Nomes e fórmulas de compostos iônicos

Lembre-se, conforme visto na Seção 2.7, de que compostos iônicos geralmente constituem-se de combinações químicas de metais e não-metais. Os metais formam os íons positivos, e os não-metais, os negativos. Examinemos a nomenclatura dos íons positivos e, em seguida, a dos íons negativos. Depois disso, abordaremos a forma de agrupar os nomes dos íons para identificar o composto iônico como um todo.

1. Íons positivos (cátions)

(a) Os cátions formados de átomos de um metal têm o mesmo nome do metal.



Íons formados a partir de um único átomo são chamados *íons monoatômicos*.

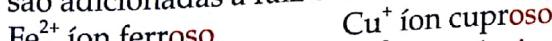
(b) Se um metal pode formar cátions de diferentes cargas, a carga positiva é indicada pelo número romano entre parênteses depois do nome do metal.



Íons com diferentes cargas exibem diversas propriedades e cor (Figura 2.25).

A maioria dos metais com cargas variáveis são *metais de transição*, elementos que aparecem no bloco intermediário dos grupos 3B e 2B na tabela periódica. As cargas desses íons são indicadas pelos números romanos. Os íons metálicos comuns que não têm cargas variáveis são os íons do grupo 1A (Li^+ , Na^+ , K^+ e Cs^+) e do grupo 2A (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} e Ba^{2+}), bem como o Al^{3+} (grupo 3A) e dois íons de metal de transição Ag^+ (grupo 1B) e Zn^{2+} (grupo 2B). As cargas não são mostradas explicitamente quando damos nomes a esses íons. Se você está em dúvida sobre se um metal forma mais de um tipo de cátion, indique a carga usando números romanos. Nunca será errado indicar a carga, mesmo que seja desnecessário.

Um método mais antigo e ainda muito utilizado para distinguir entre dois íons de um metal carregados diferentemente é adicionar a terminação *-oso* ou *-ico*. Essas terminações representam as cargas mais baixas e mais altas dos íons de um metal, respectivamente. Elas são adicionadas à raiz dos nomes latinos dos elementos:



Apesar de raramente usarmos esses nomes mais antigos neste livro, você poderá encontrá-los em outros lugares.

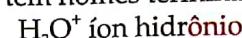
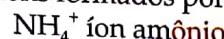
ATIVIDADES

Nomeando cátions, Nomeando ânions



Figura 2.25 Compostos de íons do mesmo elemento, mas com diferentes cargas podem variar bastante na aparência. As duas substâncias mostradas são sais complexos de ferro com íons K^+ e CN^- . O da esquerda é o ferrocianeto de potássio, que contém $Fe(II)$ ligado a íons CN^- . O da direita é o ferricianeto de potássio, que contém $Fe(III)$ ligado a íons CN^- . As duas substâncias são muito utilizadas em cópias heliográficas e outros processos de matizes.

(c) Cátions formados por átomos não-metálicos têm nomes terminados em -ônio:



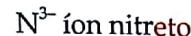
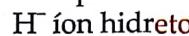
Esses dois íons são os únicos do tipo que encontraremos com freqüência neste livro. Eles são ambos poliatômicos (compostos por muitos átomos). A grande maioria dos cátions é íon metálico monoatômico. Os nomes e fórmulas de alguns dos cátions mais comuns estão relacionados na Tabela 2.4 e também encontram-se incluídos na tabela de íons comuns no encarte deste livro. Os íons relacionados à esquerda são íons monoatômicos que não apresentam cargas variáveis. Os relacionados à direita são cátions poliatômicos ou com cargas variáveis. O íon Hg_2^{2+} é singular porque é metálico e não é monoatômico. É chamado íon mercúrio (I) porque pode ser imaginado como dois íons Hg^+ unidos.

TABELA 2.4 Cátions comuns

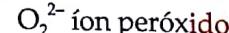
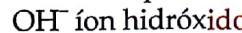
Carga	Fórmula	Nome	Fórmula	Nome
1+	H^+	íon hidrogênio	NH_4^+	íon amônio
	Li^+	íon lítio	Cu^+	íon cobre(I) ou cuproso
	Na^+	íon sódio		
	K^+	íon potássio		
	Cs^+	íon césio		
	Ag^+	íon prata		
2+	Mg^{2+}	íon magnésio	Co^{2+}	íon cobalto(II) ou cobaltoso
	Ca^{2+}	íon cálcio	Cu^{2+}	íon cobre(II) ou cúprico
	Sr^{2+}	íon estrôncio	Fe^{2+}	íon ferro(II) ou férrico
	Ba^{2+}	íon bário	Mn^{2+}	íon manganês(II) ou manganoso
	Zn^{2+}	íon zinco	Hg_2^{2+}	íon mercúrio(I) ou mercuroso
	Cd^{2+}	íon cádmio	Hg^{2+}	íon mercúrio(II) ou mercúrico
			Ni^{2+}	íon níquel(II) ou niqueloso
			Pb^{2+}	íon chumbo(II) ou plumboso
			Sn^{2+}	íon estanho(II) ou estanoso
3+	Al^{3+}	íon alumínio	Cr^{3+}	íon cromo(III) ou crômico
			Fe^{3+}	íon ferro(III) ou férrico

2. Íons negativos (ânions)

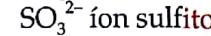
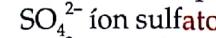
(a) Ânions monoatômicos (um átomo) têm nomes formados pela substituição da terminação do nome do elemento por -eto*:



Alguns ânions poliatômicos simples também têm seus nomes terminados em -ide:



(b) Ânions poliatômicos (muitos átomos) contendo oxigênio têm seus nomes terminando em -ato ou -ito. Esses ânions são chamados oxiâniões. A terminação -ato é usada para a maioria dos oxiâniões comuns de um elemento. A terminação -ito é usada para um oxiânião que tem a mesma carga, mas um átomo de O a menos:



Os prefixos são usados quando uma série de oxiâniões de um elemento se amplia para quatro membros, como no caso dos halogênios. O prefixo *per-* indica um átomo de O a mais que o oxiânião terminado em -ato; o prefixo *hipo-* indica um átomo de O a menos que o oxiânião terminado em -ito:



ATIVIDADES

Nomeando duas séries de dois oxiâniões, Nomeando uma série de quatro oxiâniões

* Em português, os monoâniões de oxigênio e os ânions poliatômicos OH^- e O_2^{2-} não seguem esta regra. Utiliza-se o termo óxido para O^{2-} , hidróxido para o OH^- e peróxido para O_2^{2-} (N. do T.).

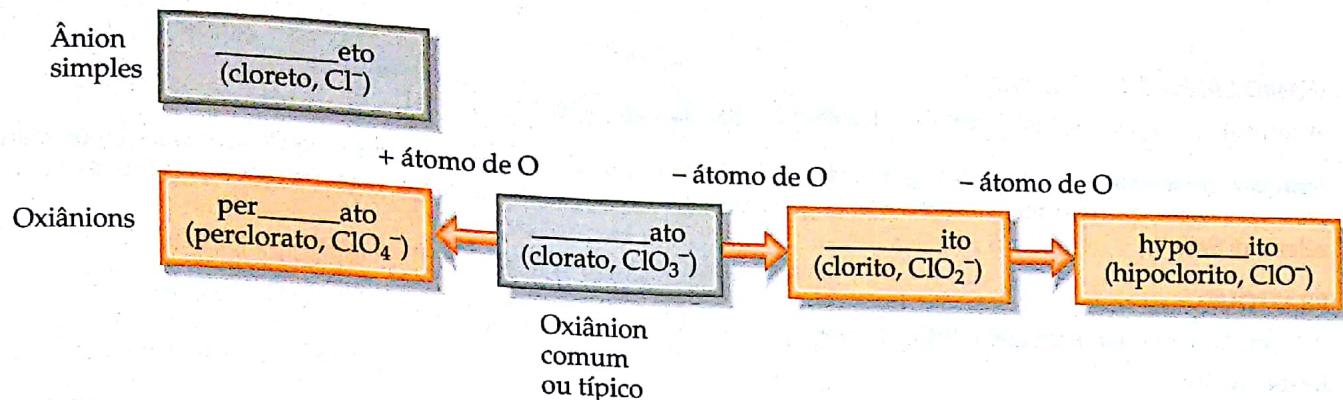
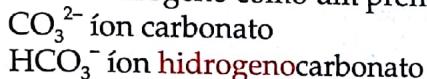


Figura 2.26 Um resumo dos procedimentos para dar nomes aos ânions. A raiz do nome (como por exemplo "clor" para cloro) fica em branco.

- ClO_4^- íon perclorato (um átomo de O a mais do que o clorato)
 ClO_3^- íon clorato
 ClO_2^- íon clorito (um átomo de O a menos do que o clorato)
 ClO^- íon hipoclorito (um átomo de O a menos que o clorito)

Se você aprender as regras que acabamos de apresentar, será necessário saber o nome de apenas um oxiânon em uma série para deduzir os nomes para os outros membros. Essas regras estão resumidas na Figura 2.26.

- (c) Ânions derivados da adição de H^+ a um oxiânon têm seu nome formado pela adição da palavra hidrogeno ou dihidrogeno como um prefixo, como apropriado:



Observe que cada H^+ reduz de uma unidade a carga negativa do ânion de origem. Um método mais antigo de dar nomes a alguns desses íons é usar o prefixo *bi-*. Assim, o íon HCO_3^- é normalmente chamado de íon bicarbonato, e o HSO_4^- é algumas vezes chamado íon bissulfato.

Os nomes e fórmulas dos ânions mais comuns estão relacionados na Tabela 2.5 e no encarte deste livro. Aqueles cujos nomes terminam em -eto estão relacionados à esquerda da tabela, enquanto aqueles cujos nomes terminam em -ato estão relacionados à direita. As fórmulas dos íons cujos nomes terminam em -ito podem ser derivadas daqueles que terminam em -ato pela remoção de um átomo de O. Observe a localização dos íons monoatômicos na tabela periódica. Aqueles do grupo 7A sempre têm carga 1- (F^- , Cl^- , Br^- e Γ), enquanto os do grupo 6A apresentam carga 2- (O^{2-} e S^{2-}).

TABELA 2.5 Ânions comuns

Carga	Fórmula	Nome	Fórmula	Nome
1-	H^-	íon hidreto	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	íon acetato
	F^-	íon fluoreto	ClO_3^-	íon clorato
	Cl^-	íon cloreto	ClO_4^-	íon perclorato
	Br^-	íon brometo	NO_3^-	íon nitrato
	Γ	íon iodeto	MnO_4^-	íon permanganato
	CN^-	íon cianeto		
	OH^-	íon hidróxido		
2-	O^{2-}	íon óxido	CO_3^{2-}	íon carbonato
	O_2^{2-}	íon peróxido	CrO_4^{2-}	íon cromato
	S^{2-}	íon sulfeto	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	íon dicromato
			SO_4^{2-}	íon sulfato
3-	N^{3-}	íon nitreto	PO_4^{3-}	íon cromo(III) ou crômico



ATIVIDADE

Nomeando íons poliatômicos

COMO FAZER 2.11

A fórmula para o íon selenato é SeO_4^{2-} . Escreva a fórmula para o íon selenito.

Solução A terminação *-ito* indica um oxiânon com a mesma carga, mas um átomo de O a menos que o oxiânon correspondente que tem a terminação *-ato*. Logo, o íon selenito tem a mesma carga, mas um oxigênio a menos que o íon selenato: SeO_3^{2-} .

PRATIQUE

A fórmula para o íon bromato é BrO_3^- . Escreva a fórmula para o íon hipobromito.

Resposta: BrO^-

3. Compostos iônicos

Os nomes dos compostos iônicos consistem do nome do ânion seguido da preposição 'de' e do nome do cátion:

CaCl_2	cloreto de cálcio
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	nitrato de alumínio
$\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$	perclorato de cobre(II) (ou perclorato cúprico)

Nas fórmulas químicas para o nitrato de alumínio e perclorato de cobre(II), são usados parenteses seguidos pelo índice superior apropriado porque os compostos contêm dois ou mais íons poliatômicos.

**ATIVIDADE****Nomeando compostos iônicos****COMO FAZER 2.12**

Dê o nome dos seguintes compostos: (a) K_2SO_4 ; (b) $\text{Ba}(\text{OH})_2$; (c) FeCl_3 .

Solução Cada um dos compostos é iônico e o nome é dado utilizando o procedimento que acabamos de abordar. Quando damos nomes a compostos iônicos, é importante distinguir os íons poliatômicos e determinar a carga dos cátions com carga variável. (a) O cátion nesse composto é K^+ e o ânion é SO_4^{2-} . (Se você pensou que o composto contém íons S^{2-} e O^{2-} , não foi capaz de reconhecer o íon poliatômico sulfato.) Colocando os nomes dos íons juntos, temos que o nome do composto será sulfato de potássio. (b) Nesse caso, o composto é constituído de íons Ba^{2+} e OH^- . Ba^{2+} é o íon bário e OH^- , o íon hidróxido. Logo, o composto é chamado hidróxido de bário. (c) Você tem de determinar a carga do Fe no composto porque o ferro pode ter carga variável. Uma vez que o composto contém três íons Cl^- , o cátion tem de ser Fe^{3+} , que é ferro(III) ou íon férrico. O íon Cl^- é o íon cloreto. Portanto, o composto é o cloreto de ferro(III) ou cloreto férrico.

PRATIQUE

Dê o nome dos seguintes compostos: (a) NH_4Br ; (b) Cr_2O_3 ; (c) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$.

Respostas: (a) brometo de amônio; (b) óxido de cromo(III); (c) nitrito de cobalto(II).

COMO FAZER 2.13

Escreva as fórmulas químicas para os seguintes compostos: (a) sulfeto de potássio; (b) hidrogeno carbonato de cálcio; (c) perclorato de níquel(II).

Solução Para descobrir a fórmula química de um composto iônico a partir do seu nome, você precisa saber as cargas dos íons para determinar os índices inferiores. (a) O íon potássio é K^+ e o íon sulfeto é S^{2-} . Uma vez que compostos iônicos são eletricamente neutros, são necessários 2 íons K^+ para balancear a carga de um íon S^{2-} , fornecendo a fórmula mínima K_2S para o composto. (b) O íon cálcio é Ca^{2+} . O íon carbonato é CO_3^{2-} , logo o hidrogenocarbonato é HCO_3^- . São necessários dois íons HCO_3^- para balancear a carga positiva do Ca^{2+} , fornecendo $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. (c) O íon níquel(II) é Ni^{2+} . O íon perclorato é ClO_4^- . Necessita-se de dois íons ClO_4^- para balancear a carga em um íon Ni^{2+} , fornecendo $\text{Ni}(\text{ClO}_4)_2$.

PRATIQUE

Dê a fórmula química para (a) sulfato de magnésio; (b) sulfeto de prata; (c) nitrito de chumbo(II).

Respostas: (a) MgSO_4 ; (b) Ag_2S ; (c) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

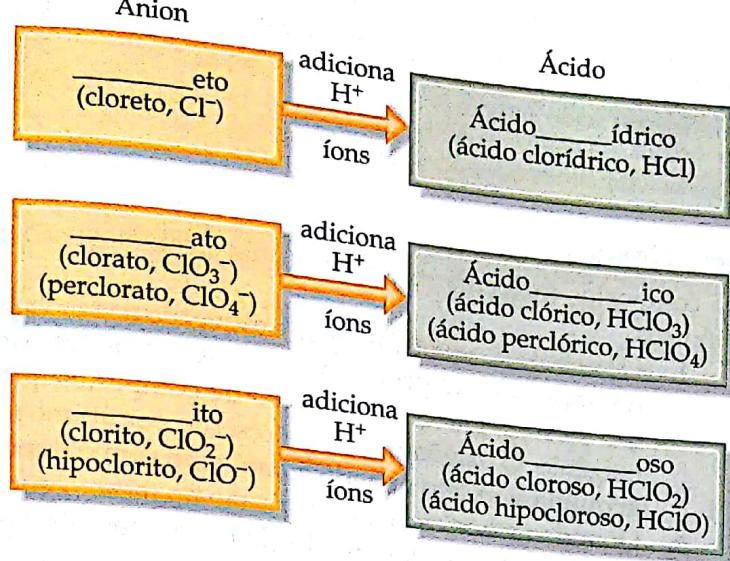


Figura 2.27 Resumo da maneira pela qual os nomes dos ânions e ácidos estão relacionados. Os prefixos *per-* e *hipo-* são mantidos indo do ânion para o ácido.

Nomes e fórmulas dos ácidos

Ácidos são uma importante classe de compostos que contêm hidrogênio, e seus nomes são dados de maneira especial. Para o objetivo do momento, um *ácido* é uma substância cujas moléculas liberam íons hidrogênio (H^+) quando dissolvidos em água. Quando deparamos com a fórmula química de um ácido neste estágio do curso, ela será escrita com H como o primeiro elemento, como em HCl e H_2SO_4 .

Podemos considerar um ácido como sendo constituído de um ânion ligado a um número suficiente de íons H^+ capazes de neutralizar ou balancear a carga do ânion. Dessa forma, o íon SO_4^{2-} necessita de dois íons H^+ , formando H_2SO_4 . O nome de um ácido está relacionado ao nome de seu ânion, como resumido na Figura 2.27.

1. *Ácidos derivados de ânions cujos nomes terminam em -eto.* Ânions cujos nomes terminam em *-eto* têm o ácido associado com uma terminação *-drico*, como nos seguintes exemplos:

Ânion	Ácido correspondente
Cl^- (cloreto)	HCl (ácido clorídrico)
S^{2-} (sulfeto)	H_2S (ácido sulfídrico)

2. *Ácidos derivados de ânions cujos nomes terminam em -ato ou -ito.* Ânions cujos nomes terminam em *-ato* têm seu ácido associado com a terminação *-ico*, enquanto ânions cujos nomes terminam em *-ito* têm seu ácido associado com a terminação *oso*. Prefixos nos nomes dos ânions são mantidos no nome dos ácidos. Estas regras são exemplificadas pelos oxi-ácidos do cloro:

Ânion	Ácido correspondente
ClO_4^- (perclorato)	HClO_4 (ácido perclórico)
ClO_3^- (clorato)	HClO_3 (ácido clórico)
ClO_2^- (clorito)	HClO_2 (ácido cloroso)
ClO^- (hipoclorito)	HClO (ácido hipocloroso)

COMO FAZER 2.14

Dê o nome dos seguintes ácidos: (a) HCN ; (b) HNO_3 ; (c) H_2SO_4 ; (d) H_2SO_3 .

Solução (a) O ânion do qual o ácido deriva é CN^- , o íon cianeto. Uma vez que este íon tem uma terminação *-eto*, o ácido terá uma terminação *-ídrico*: ácido cianídrico. Chamamos de ácido cianídrico apenas as soluções aquosas de HCN : o composto puro, que é um gás em condições normais, é chamado de cianeto de hidrogênio. Tanto o ácido cianídrico quanto o cianeto de hidrogênio são *extremamente tóxicos*. (b) Uma vez que NO_3^- é o íon nitrato, o HNO_3 é chamado ácido nítrico (a terminação *-ato* do ânion é substituída pela terminação *-ico* quando damos nome ao ácido). (c) Uma vez que o SO_4^{2-} é o íon sulfato, H_2SO_4 é chamado de ácido sulfúrico. (d) Uma vez que SO_3^{2-} é o íon sulfito, H_2SO_3 é o ácido sulfuroso (a terminação *-ito* do ânion é trocada pela terminação *-oso*).

PRATIQUE

Dê as fórmulas químicas para (a) ácido bromídrico; (b) ácido carbônico.

Respostas: (a) HBr; (b) H_2CO_3 .

Nomes e fórmulas de compostos moleculares binários

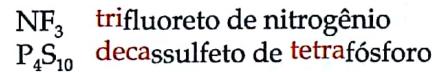
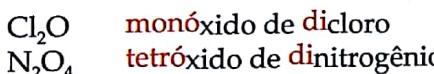
Os procedimentos usados para dar nome a compostos moleculares *binários* (dois elementos) são similares àqueles usados para dar nomes aos compostos iônicos:

TABELA 2.6 Prefixos usados para dar nomes aos compostos binários formados entre não-metais

Prefixo	Significado
Mono-	1
Di-	2
Tri-	3
Tetra-	4
Penta-	5
Hexa-	6
Hepta-	7
Octa-	8
Nona-	9
Deca-	10

1. O símbolo do elemento mais à esquerda na tabela periódica é sempre escrito primeiro na fórmula química. Uma exceção a esta regra ocorre no caso de compostos que contêm oxigênio. O oxigênio é sempre escrito por último na fórmula química, exceto quando combinado com o flúor.
2. Quando ambos os elementos estão no mesmo grupo da tabela periódica, o símbolo do elemento mais abaixo no grupo aparece primeiro.
3. O elemento à direita na fórmula química do composto recebe o nome com a terminação -eto* seguido da preposição *de*.
4. Acrescenta-se, então, o nome do elemento que aparece primeiro na fórmula química logo após a preposição *de*.
5. Prefixos gregos (Tabela 2.6) são utilizados para indicar o número de átomos de cada elemento. O prefixo *mono-* nunca é usado com o segundo elemento da fórmula química. Quando o prefixo termina em *a* ou *o* e o nome do segundo elemento na fórmula química começa com uma vogal (como no caso de óxido), o *a* ou *o* é normalmente eliminado.

Os seguintes exemplos ilustram essas regras:



É importante perceber que você não pode prever as fórmulas da maioria das substâncias moleculares do mesmo modo que você prevê as fórmulas de compostos iônicos. Por isso é que damos nome a eles usando prefixos que indicam, de forma explícita, suas composições. Entretanto, compostos que contêm hidrogênio e um outro elemento são uma importante exceção. Esses compostos podem ser tratados como se contivessem íons H^+ . Assim, HCl é cloreto de hidrogênio (este é o nome usado para o composto puro; solução aquosa de HCl é chamada de ácido clórico). Analogamente, H_2S é sulfeto de hidrogênio.

COMO FAZER 2.15

Dê o nome dos seguintes compostos: (a) SO_2 ; (b) PCl_5 ; (c) N_2O_3 .

Solução Esses compostos são constituídos unicamente de não-metais; logo, são moleculares, provavelmente, em vez de iônicos. Usando os prefixos da Tabela 2.6, temos (a) dióxido de enxofre, (b) pentacloreto de fósforo e (c) trióxido de dinitrogênio.

PRATIQUE

Dê a fórmula química para (a) tetrabrometo de silício; (b) dicloreto de dienxofre.

Respostas: (a) SiBr_4 ; (b) S_2Cl_2 .

2.9 Alguns compostos orgânicos simples

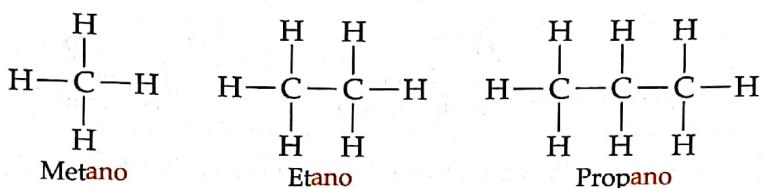
O estudo dos compostos de carbono é chamado de **química orgânica**. Compostos que contêm carbono e hidrogênio, normalmente combinados com oxigênio, nitrogênio ou outros elementos, são chamados **compostos orgânicos**.

* Em português, a terminação -eto não se aplica ao oxigênio; utiliza-se a terminação -ido (N. do T.).

Abordaremos compostos orgânicos e química orgânica em mais detalhes no Capítulo 25. Veremos menção a compostos orgânicos por todo o livro; muitos deles têm aplicações práticas ou são importantes para a química de sistemas biológicos. Apresentaremos aqui uma introdução muito breve de alguns dos mais simples compostos orgânicos para fornecer uma idéia de como essas moléculas são e de como podemos nomeá-las.

Alcanos

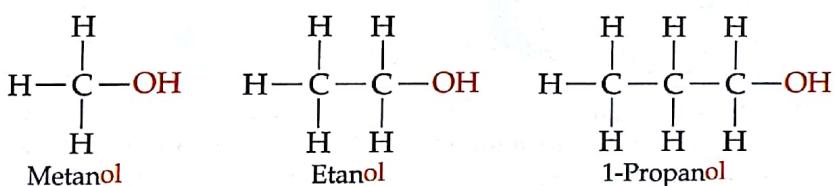
Compostos que contêm apenas carbono e hidrogênio são chamados **hidrocarbonetos**. Na mais básica classe de hidrocarbonetos, cada átomo de carbono está ligado a outros quatro átomos. Esses compostos são chamados **alcanos**. Os três alkanos mais simples, que contêm um, dois e três átomos de carbono, respectivamente, são metano (CH_4), etano (C_2H_6) e propano (C_3H_8). As fórmulas estruturais desses alkanos são as seguintes:



Cada um dos alkanos tem um nome que termina em *-ano*. Alkanos mais longos podem ser obtidos adicionando-se átomos de carbono ao ‘esqueleto’ da molécula. Para alkanos com cinco ou mais átomos de carbono, os nomes são derivados dos prefixos da Tabela 2.6. Um alcano com oito átomos de carbono, por exemplo, é chamado *octano* (C_8H_{18}), onde o prefixo *octa-* para oito é combinado com a terminação *-ano* de alkanos. A gasolina é constituída basicamente de octanos, como será abordado no Capítulo 25.

Alguns derivados dos alcanos

Outras classes de compostos orgânicos são obtidas quando átomos de hidrogênio dos alkanos são substituídos por *grupos funcionais*, grupos específicos de átomos. Um **álcool**, por exemplo, é obtido pela troca de um átomo de hidrogênio de um alcano por um grupo $-\text{OH}$. O nome de um álcool é derivado daquele do alcano pela adição da terminação *-ol*:



Os alcoóis têm propriedades muito diferentes das dos alkanos que lhes dão origem. Por exemplo, metano, etano e propano são todos gases incolores em condições normais, enquanto metanol, etanol e propanol são líquidos incolores. Abordaremos as razões para essas diferenças nas propriedades do Capítulo 11.

O prefixo ‘1’ no nome 1-propanol indica que a substituição de um H por um OH ocorreu em um dos átomos de carbono ‘externos’, e não em um átomo de carbono do ‘meio’; um composto diferente chamado 2-propanol (também conhecido como álcool isopropílico) é obtido se o grupo funcional OH estiver ligado ao átomo de carbono do meio. Modelos de bola e palito do 1-propanol e do 2-propanol são mostrados na Figura 2.28. Como você aprenderá no Capítulo 25, a nomenclatura de compostos orgânicos fornece as maneiras pelas quais podemos definir sem ambigüidade quais átomos estão ligados entre si.

Muito da riqueza da química orgânica se deve à possibilidade de compostos de cadeias longas com ligações carbono-carbono serem encontrados na natureza ou poderem ser sintetizados. Em princípio, a série de alkanos e alcoóis que começa com metano, etano e propano pode ser estendida até o tamanho que desejarmos. As propriedades dos alkanos e alcoóis muda à medida que as cadeias aumentam. Octanos, que são alkanos com oito átomos de carbono, são líquidos nas condições normais. Se a série de alcano é estendida para dezenas de milhares de átomos de carbono, obtemos *polietileno*, uma substância sólida usada para fazer milhares de produtos plásticos, como sacolas plásticas, potes para comida e equipamentos de laboratório. O polietileno é um exemplo de *polímero*, uma substância obtida pela união de milhares de moléculas menores. Abordaremos polímeros com mais detalhes no Capítulo 12.

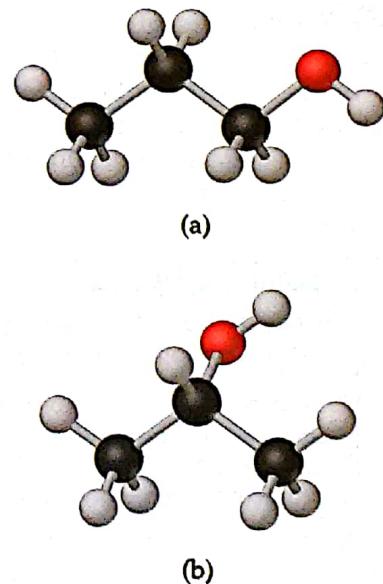
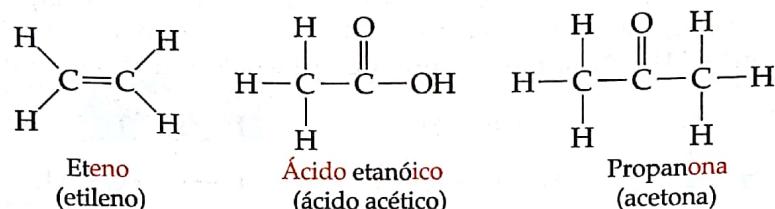


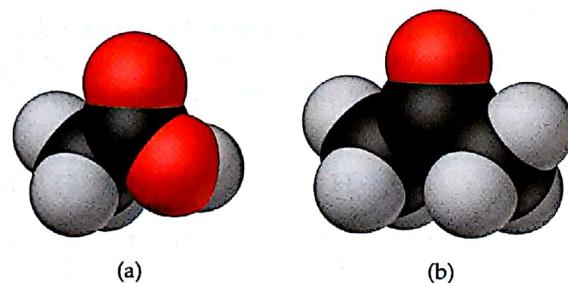
Figura 2.28 Modelos de bola e palito de duas formas do propano ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$): (a) 1-propanol, onde o grupo OH está ligado a um dos átomos de carbono da ponta e (b) 2-propanol, onde o grupo OH está ligado ao átomo de carbono do meio.

Em todos os compostos abordados até agora, os átomos de carbono na fórmula estrutural estão ligados a quatro outros átomos por uma linha única; nos capítulos posteriores você aprenderá que uma linha única representa uma *ligação simples* entre o átomo de carbono e o outro átomo. O carbono, entretanto, pode também formar *ligações múltiplas* com o próprio carbono ou com outros átomos, como oxigênio e nitrogênio. As ligações múltiplas mudam as propriedades das moléculas orgânicas. Algumas substâncias orgânicas comuns que contêm ligação dupla entre átomos de carbono são mostradas a seguir. Em cada caso, demos o nome correto do composto, que é derivado do prefixo de um alcano, e o nome ‘comum’ pelo qual você provavelmente conhece a substância:



O etileno é um *hidrocarboneto insaturado*, o qual é um composto com uma ligação múltipla carbono–carbono. A ligação dupla carbono–carbono torna o etileno mais reativo que os alcanos. Ácido acético é um *ácido carboxílico*. É o componente característico do vinagre. Acetona é uma *cetona*. É um solvente orgânico de uso doméstico para remoção de verniz e esmalte de unhas. A Figura 2.29 mostra modelos de preenchimento do espaço para o ácido acético e para a acetona. Você encontrará outras moléculas orgânicas em todo o livro e deverá observar o número de átomos de carbono envolvidos e os outros tipos de átomos aos quais o carbono está ligado. Como ressaltado anteriormente, apresentaremos uma abordagem mais completa da química orgânica no Capítulo 25.

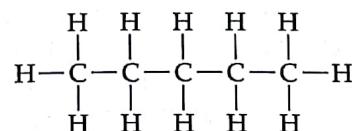
Figura 2.29 Modelos de preenchimento de espaço do (a) ácido acético ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) e (b) da acetona ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$).



COMO FAZER 2.16

Considere o alcano chamado *pentano*. (a) Supondo que os átomos de carbono estejam em uma linha reta, escreva uma fórmula estrutural para o pentano. (b) Qual a fórmula molecular para o pentano?

Solução (a) Os alcanos contêm apenas carbono e hidrogênio e cada átomo de carbono está ligado a quatro outros átomos. O nome pentano contém o prefixo *penta-* (Tabela 2.6), de forma que podemos admitir que o pentano contém cinco átomos de carbono ligados em uma cadeia. Se adicionarmos átomos de hidrogênio o suficiente para que cada átomo de carbono faça quatro ligações, teremos a seguinte fórmula estrutural:



Esta forma do pentano é geralmente chamada *n*-pentano, onde o *n*- significa ‘normal’ porque todos os cinco átomos de carbono estão em uma linha na fórmula estrutural.

(b) Com a fórmula estrutural escrita, podemos determinar a fórmula molecular contando os átomos presentes. Assim, *n*-pentano tem a fórmula C_5H_{12} .

PRATIQUE

Butano é um alcano com quatro átomos de carbono. (a) Qual é a fórmula molecular do butano? (b) Qual é o nome e a fórmula molecular de um álcool derivado do butano?

Respostas: (a) C_4H_{10} ; (b) butanol, $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

Resumo e termos-chave

Seções 2.1 e 2.2 Átomos são os componentes básicos da matéria; eles são as menores unidades de um elemento que podem se combinar com outros elementos. Os átomos são compostos de partes ainda menores chamadas **partículas subatômicas**. Algumas dessas partículas são carregadas e seguem o comportamento usual de partículas carregadas: partículas com a mesma carga se repelem, enquanto partículas com cargas diferentes se atraem. Abordamos alguns dos mais importantes experimentos que levaram à descoberta e à caracterização das partículas subatômicas. Os experimentos de Thomson sobre o comportamento dos **raios catódicos** em campos magnéticos e elétricos proporcionaram a descoberta do elétron e permitiram que sua razão carga-massa fosse medida; o experimento da gota de óleo de Millikan determinou a carga do elétron; a descoberta de Becquerel sobre **radioatividade**, a emissão espontânea de radiação pelos átomos, forneceu mais evidências de que o átomo tinha uma subestrutura; e os estudos de Rutherford de como uma película fina de metal desvia partículas α mostrou que o átomo tinha um **núcleo** denso, carregado positivamente.

Seção 2.3 Os átomos têm um núcleo que contém **prótons** e **nêutrons**; os **elétrons** movimentam-se no espaço ao redor do núcleo. O valor da carga do elétron, $1,62 \times 10^{-19}$ C, é chamado **carga eletrônica**. As cargas das partículas são geralmente representadas por múltiplos dessa carga; logo, um elétron tem carga 1- e um próton, carga 1+. As massas dos átomos são quase sempre expressas em termos de **unidades de massa atômica** ($1 u = 1,66054 \times 10^{-24}$ g). As dimensões dos átomos são normalmente expressas em angströns ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m).

Os elementos podem ser classificados pelo **número atômico**, o número de prótons no núcleo de um átomo. Todos os átomos de um elemento qualquer têm o mesmo número atômico. O **número de massa** de um átomo é a soma dos números de prótons e nêutrons. Os átomos de um mesmo elemento com número de massa diferente são conhecidos como **isótopos**. Um átomo de um isótopo específico é chamado **nuclédeo**.

Seção 2.4 A escala de massa atômica é definida atribuindo-se a massa exata de $12 u$ a um átomo de ^{12}C . O **peso atômico** (média da massa atômica) de um elemento pode ser calculado a partir das abundâncias relativas dos isótopos desse elemento. O **espectrômetro de massa** fornece a mais direta e acurada maneira de medir experimentalmente os pesos atômicos (e moleculares).

Seção 2.5 A **tabela periódica** é a organização dos elementos em ordem crescente de número atômico. Elementos com propriedades semelhantes são colocados nas colunas verticais. Os elementos em uma mesma coluna são conhecidos como **grupo** periódico. Os **elementos metálicos**, que correspondem à maioria, dominam o lado esquerdo e o meio da tabela; os ele-

mentos não-metálicos estão localizados no lado direito superior. Muitos dos elementos localizados na linha que separa os metais dos não-metais são **metalóides**.

Seção 2.6 Os átomos podem se combinar para formar **moléculas**. Compostos constituídos de moléculas (**compostos moleculares**) normalmente contêm apenas elementos não-metálicos. Uma molécula formada por dois átomos é chamada **molécula diatômica**. A composição de uma substância é dada por sua **fórmula química**. Uma substância molecular pode ser representada por sua **fórmula mínima**, que dá os números relativos de átomos de cada tipo. Entretanto, é geralmente representada pela **fórmula molecular**, que dá os números exatos de cada tipo de átomo em uma molécula. As **fórmulas estruturais** mostram a maneira como os átomos estão ligados na molécula. Os modelos de bola e palito e de preenchimento de espaço são muito usados para representar as moléculas.

Seção 2.7 Os átomos podem ganhar ou perder elétrons, formando partículas carregadas chamadas **íons**. Os metais tendem a perder elétrons, tornando-se íons carregados positivamente (**cátions**). Os não-metais tendem a ganhar elétrons, formando íons carregados negativamente (**ânions**). Uma vez que **compostos iônicos** são eletricamente neutros, contendo tanto cátions quanto ânions, eles em geral contêm elementos metálicos e não-metálicos. Os átomos ligados entre si, como em uma molécula, mas com carga líquida, são chamados **íons poliatômicos**. As fórmulas químicas usadas para compostos iônicos são fórmulas mínimas, que podem ser rapidamente escritas se as cargas dos íons são conhecidas. A carga total positiva dos cátions em um composto iônico é igual à carga total negativa dos ânions.

Seção 2.8 O conjunto de regras usado para dar nomes aos compostos químicos é chamado **nomenclatura química**. Estudamos as regras sistemáticas adotadas para dar nome a três classes de substâncias inorgânicas: compostos iônicos, ácidos e compostos moleculares binários. Ao dar nome a um composto iônico, o ânion é nomeado antes do cátion. Os cátions formados de átomos metálicos apresentam o mesmo nome do metal precedidos da preposição *de*. Se o metal pode formar cátions com diferentes cargas, a carga é indicada usando números romanos. Ânions monoatômicos recebem nomes com terminação *-eto*. Ânions poliatômicos contendo oxigênio e outro elemento (**oxiâniions**) recebem nomes terminados em *-ato* ou *-ito*.

Seção 2.9 A **química orgânica** é o estudo dos compostos que contêm carbono. A classe mais simples de moléculas orgânicas é a dos **hidrocarbonetos**, os quais contêm somente carbono e hidrogênio. Os hidrocarbonetos a que cada átomo de carbono está ligado a quatro outros átomos são chamados **alcanos**. Os alcanos têm nomes que terminam em *-ano*, como em *metano* e *etano*.

Os outros compostos orgânicos são formados quando um átomo de H de um hidrocarboneto é substituído por um grupo funcional. Um **álcool**, por exemplo, é um composto no qual um átomo de H de um hidrocarboneto

é substituído por um grupo funcional OH. Os alcoóis têm nomes que terminam em *-ol*, como metanol e etanol. Outras moléculas orgânicas têm ligações múltiplas entre um átomo de carbono e outros átomos.

Exercícios

Teoria atômica e a descoberta da estrutura atômica

- 2.1 Como a teoria atômica de Dalton considera o fato de que quando 1,000 g de água se descompõe em seus elementos, obtém-se 0,111 g de hidrogênio e 0,889 g de oxigênio independentemente de qual for a origem da água?
- 2.2 Sulfeto de hidrogênio é composto de dois elementos: hidrogênio e enxofre. Em um experimento, 6,500 g de sulfeto de hidrogênio se descompõem completamente em seus elementos. (a) Se 0,384 g de hidrogênio é obtido nesse experimento, quantos gramas de enxofre devem ser obtidos? (b) Qual a lei fundamental que o experimento demonstra? (c) Como essa lei é explicada pela teoria atômica de Dalton?
- 2.3 Um químico descobre que 30,82 g de nitrogênio reagiram com 17,60 g, 35,20 g, 70,40 g ou 88,00 g de oxigênio para formar quatro compostos diferentes. (a) Calcule a massa de oxigênio por grama de nitrogênio em cada composto. (b) Como os números do item (a) confirmam a teoria atômica de Dalton?
- 2.4 Em uma série de experimentos, um químico preparou três compostos diferentes que contêm apenas iodo e flúor e determinou a massa de cada elemento em cada composto:

Composto	Massa de iodo (g)	Massa de flúor (g)
1	4,75	3,56
2	7,64	3,43
3	9,41	9,86

(a) Calcule a massa de flúor por grama de iodo em cada composto. (b) Como os números do item (a) confirmam a teoria atômica?

- 2.5 Faça um resumo das evidências usadas por J. J. Thomson para deduzir que os raios catódicos constituem-se de partículas carregadas negativamente.
- 2.6 Uma partícula carregada negativamente é arremessada entre duas placas carregadas eletricamente, como ilustrado na Figura 2.8. (a) Por que o caminho da partícula carregada é curvo? (b) Com o aumento da carga você espera que a curvatura aumente, diminua ou permaneça a mesma? (c) Com o aumento da massa das partículas, mantendo-se suas velocidades inalteradas, você espera que a curvatura aumente, diminua ou permaneça a mes-

ma? (d) Uma partícula desconhecida é lançada através do aparelho. Seu caminho é desviado na direção oposta da partícula carregada negativamente, por um pequeno valor. O que você pode concluir sobre essa partícula desconhecida?

- 2.7 (a) Qual é o objetivo da fonte de raios X no experimento da gota de óleo de Millikan (Figura 2.5)? (b) Como mostrado na Figura 2.5, a placa carregada positivamente está acima da placa carregada negativamente. Qual seria o efeito na velocidade das gotas de óleo que estão descendo se as cargas nas placas fossem invertidas (negativa acima da positiva)? (c) Em sua série original de experimentos, Millikan mediou a carga em 58 gotas de óleo separadas. Por que você acha que ele escolheu tantas gotas antes de chegar às suas conclusões finais? Millikan determinou a carga no elétron com o estudo das cargas estáticas nas gotas de óleo que caíram em um campo elétrico. Um estudante realizou esse experimento usando várias gotas de óleo para suas medidas e calculou as cargas nessas gotas obtendo os seguintes dados:

Gotas	Carga calculada (C)
A	$1,60 \times 10^{-19}$
B	$3,15 \times 10^{-19}$
C	$4,81 \times 10^{-19}$
D	$6,31 \times 10^{-19}$

- 2.8 (a) Qual o significado do fato de as gotas carregarem cargas diferentes? (b) A que conclusão o estudante pode chegar a partir desses dados, no que diz respeito à carga do elétron? (c) Qual valor (e com quantos algarismos significativos) ele deverá informar para a carga eletrônica?
- 2.9 (a) Na Figura 2.8, os raios γ não são desviados por um campo elétrico. O que você pode concluir sobre a radiação γ a partir dessa observação? (b) Por que os raios α e β são desviados em direções opostas por um campo elétrico, como ilustrado na Figura 2.8?
- 2.10 Por que o modelo nuclear de Rutherford para o átomo é mais consistente com os resultados de seus experimentos de dispersão de partículas α do que o modelo de ‘pu-dim de ameixa’ de Thomson?

A visão moderna da estrutura atômica; pesos atômicos

- 2.11** O raio de um átomo de criptônio (Kr) é aproximadamente 1,9 Å. (a) Expresse essa distância em nanômetros (nm) e em picômetros (pm). (b) Quantos átomos de criptônio você teria de alinhar para perfazer uma distância de 1,0 mm? (c) Se assumirmos que o átomo é uma esfera, qual o volume em cm^3 de apenas um átomo de Kr?
- 2.12** Um átomo de ródio (Rh) tem um diâmetro de aproximadamente $2,5 \times 10^{-8}$ cm. (a) Qual o raio de um átomo de ródio em angström (Å) e em metros (m)? (b) Quantos átomos de ródio teriam de ser colocados lado a lado para perfazer uma distância de $6,0 \mu\text{m}$? (c) Se considerarmos que o átomo é uma esfera, qual o volume em m^3 de apenas um átomo de Rh?
- 2.13** Sem consultar a Tabela 2.1, responda às seguintes questões: (a) Quais as principais partículas subatômicas de um átomo? (b) Qual a carga, em unidades de carga eletrônica, de cada uma das partículas? (c) Quais das partículas é a mais pesada? Qual é a menos pesada?
- 2.14** Determine se cada uma das seguintes afirmações é verdadeira ou falsa; se for falsa, corrija a afirmação para torná-la verdadeira: (a) O núcleo tem a maior parte da massa e constitui a maior parte do volume de um átomo; (b) todo átomo de um elemento qualquer tem o mesmo número de prótons; (c) o número de elétrons em um átomo é igual ao seu número de nêutrons; (d) os prótons no núcleo do átomo de hélio são mantidos juntos por uma força chamada força nuclear forte.
- 2.15** Quantos prótons, nêutrons e elétrons existem nos seguintes átomos: (a) ^{28}Si ; (b) ^{60}Ni ; (c) ^{85}Rb ; (d) ^{128}Xe ; (e) ^{195}Pt ; (f) ^{238}U ?
- 2.16** Cada um dos seguintes nuclídeos é usado em medicina. Indique o número de prótons e nêutrons em cada nuclídeo: (a) fósforo-32; (b) cromo-51; (c) cobalto-60; (d) tecnécio-99; (b) iodo-131; (f) tálio-201.
- 2.17** Preencha as lacunas da seguinte tabela, supondo que cada coluna represente um átomo neutro:
- | Símbolo | ^{52}Cr | | | | |
|-------------|------------------|----|----|-----|-----|
| Prótons | | 33 | | | 77 |
| Nêutrons | | 42 | 20 | | |
| Elétrons | | | 20 | 86 | |
| Nº de massa | | | | 222 | 193 |
- 2.18** Preencha as lacunas da seguinte tabela admitindo que cada coluna represente um átomo neutro:
- | Símbolo | ^{121}Sb | | | | |
|-------------|-------------------|----|-----|-----|-----|
| Prótons | | 38 | | | 94 |
| Nêutrons | | 50 | 108 | | |
| Elétrons | | | 74 | 57 | |
| Nº de massa | | | | 139 | 239 |
- 2.19** Escreva o símbolo correto, com índice superior e índice inferior, para cada um dos seguintes elementos. Use a lista de elementos no encarte deste livro quando for necessário: (a) o nuclídeo do hafnio que contém 107 nêutrons; (b) o isótopo do argônio com número de massa 40; (c) uma partícula α ?; (d) o isótopo do índio com número de massa 115; (e) o nuclídeo de silício que tem um número igual de prótons e nêutrons.
- 2.20** Uma forma de se compreender a evolução da Terra é medindo as quantidades de certos nuclídeos nas rochas. Uma quantidade medida recentemente é a razão entre o ^{129}Xe e o ^{130}Xe em alguns minerais. De que forma esses nuclídeos diferem entre si e em quais aspectos eles são iguais?
- 2.21** (a) Qual isótopo é usado como padrão para estabelecer a escala de massa atômica? (b) A massa atômica do cloro é descrita como 35,5; no entanto, nenhum átomo de cloro tem massa de 35,5 u . Explique.
- 2.22** (a) Qual a massa em u de um átomo de carbono-12? (b) Por que a massa atômica do carbono é dada como 12,011 na tabela dos elementos e na tabela periódica no encarte deste livro?
- 2.23** O elemento chumbo (Pb) compõe-se de quatro isótopos encontrados na natureza com massas de 203,97302, 205,97444, 206,97587 e 207,97663 u . A abundância relativa desses quatro isótopos são 1,4, 24,1, 22,1 e 52,4%, respectivamente. A partir desses dados, calcule a massa atômica média do chumbo.
- 2.24** Apenas dois isótopos do cobre são encontrados na natureza, ^{63}Cu (massa = 62,9296 u ; 69,17% de abundância) e ^{65}Cu (massa = 64,9278 u ; 30,83% de abundância). Calcule o peso atômico (massa atômica média) do cobre.
- 2.25** (a) Qual o princípio básico que relaciona a espectrometria de massa com os experimentos de raios catódicos de Thomson (Figura 2.4)? (b) Quais as legendas nos eixos de um espectro de massa? (c) Para se obter o espectro de massa de um átomo, ele deve primeiro perder ou ganhar um ou mais elétrons. Qual a razão disso?
- 2.26** O espectrômetro de massa da Figura 2.13 tem um ímã como um de seus componentes. Qual a finalidade desse ímã? (b) A massa atômica do Cl é 35,5 u . Entretanto, o espectro de massa do Cl (Figura 2.14) não mostra um pico correspondente a ela. Explique. (c) Um espectro de massa de átomos de fósforo (P) mostra apenas um pico correspondente à massa 31. O que você pode concluir dessa observação?
- 2.27** O magnésio encontrado na natureza tem as seguintes abundâncias isotópicas:
- | Isótopo | Abundância | Massa |
|------------------|------------|----------|
| ^{24}Mg | 78,99% | 23,98504 |
| ^{25}Mg | 10,00% | 24,98584 |
| ^{26}Mg | 11,01% | 25,98259 |
- (a) Qual a massa atômica média do Mg? (b) Esboce o espectro de massa do Mg.
- 2.28** A espectrometria de massa é mais comumente aplicada para moléculas do que para átomos. Veremos no Capítulo 3 que o peso molecular é a soma dos pesos atômicos dos átomos na molécula. O espectro de massa do H_2 é obtido sob condições que evitam a decomposição dos átomos de H. Os dois isótopos de hidrogênio encontrados na natureza são ^1H (massa = 1,00783 u ; 99,9885% de abundância) e ^2H (massa = 2,01410 u ; 0,0115% de abundância). (a) Quantos picos o espectro de massa tem? (b) Dê as massas atômicas relativas de cada um desses picos. (c) Qual pico será o maior e qual será o menor?