



Institute of Physics

Fundamentals of Chemistry *for Physics*

L. R. XIMENES

2023

Exercício 1	2	Exercício 9	7
Exercício 2	3	Exercício 10	8
Exercício 3	3	Exercício 11	8
Exercício 4	4	Exercício 12	9
Exercício 5	5	Exercício 13	9
Exercício 6	5	Exercício 14	10
Exercício 7	6	Exercício 15	11
Exercício 8	6	Exercício 16	12

Lucas R. Ximenes dos Santos - 11917239

Para resolver os exercícios, utilizei alguns livros/artigos para solução dos problemas. Abaixo coloco os nomes com hyperlinks.

Referências: Atkins and Jones [2011](#); Brown et al. [2009](#); Chadwick [1932](#); Levine [2001](#); Millikan [1913](#); Rutherford [1911](#); Thomson [1897](#)

Exercício 1

Quais são os principais pontos da Teoria Atômica de Dalton?

Solução:

A teoria atômica de Dalton é uma teoria fundamental da química que descreve a estrutura da matéria. Ela tem cinco pontos principais:

- Os elementos químicos são compostos por átomos indivisíveis e indestrutíveis.
- Todos os átomos de um elemento são iguais em massa e outras propriedades, enquanto os átomos de diferentes elementos têm massas diferentes.
- As reações químicas ocorrem quando os átomos são separados, combinados ou rearranjados, mas os átomos em si não são criados, destruídos ou transformados em átomos de outro elemento.
- As moléculas são formadas por átomos combinados em proporções definidas e simples.

Esses princípios foram desenvolvidos por John Dalton no início do século XIX e foram a base para a compreensão moderna da química e da estrutura da matéria. A teoria atômica de Dalton foi posteriormente refinada e desenvolvida com o avanço da física e da química, mas os seus princípios fundamentais continuam sendo uma parte importante da nossa compreensão da matéria.



Exercício 2

Como a Teoria Atômica de Dalton corrobora a Lei da Conservação da Matéria de Lavoisier, a Lei das Proporções Definidas de Proust e a Lei das Proporções Múltiplas de Dalton?

Solução:

A Teoria Atômica de Dalton corrobora as três leis da química mencionadas da seguinte maneira:

- **Lei da Conservação da Matéria de Lavoisier:** A Teoria Atômica de Dalton corrobora a Lei da Conservação da Matéria de Lavoisier, que afirma que a massa total de um sistema fechado permanece constante ao longo de uma reação química. Isso ocorre porque a teoria atômica de Dalton afirma que os átomos não podem ser criados ou destruídos durante uma reação química, mas apenas rearranjados. Assim, a massa total dos reagentes deve ser igual à massa total dos produtos.
- **Lei das Proporções Definidas de Proust:** A Teoria Atômica de Dalton corrobora a Lei das Proporções Definidas de Proust, que afirma que os compostos químicos sempre contêm os mesmos elementos em proporções fixas. Isso ocorre porque a Teoria Atômica de Dalton afirma que os átomos dos elementos se combinam em proporções fixas para formar compostos. Essa lei é importante porque nos permite prever as proporções de elementos em um composto a partir da sua fórmula química.
- **Lei das Proporções Múltiplas de Dalton:** A Teoria Atômica de Dalton corrobora a Lei das Proporções Múltiplas de Dalton, que afirma que quando dois elementos formam mais de um composto, as massas de um elemento que se combinam com uma massa fixa do outro elemento estão em proporções de números inteiros simples. Isso ocorre porque a teoria atômica de Dalton afirma que os átomos se combinam em proporções fixas para formar compostos, e que essas proporções podem ser expressas em termos de números inteiros simples. Essa lei é importante porque nos permite prever as proporções de elementos em diferentes compostos formados a partir dos mesmos elementos.



Exercício 3

Quais são os pontos da Teoria Atômica de Dalton que não estão de acordo com a visão atômica atual?

Solução:

Embora a Teoria Atômica de Dalton tenha sido uma contribuição significativa para a compreensão da estrutura da matéria, existem alguns pontos que não estão de acordo com a visão atômica atual. Alguns desses pontos são:

- **Átomos são indivisíveis:** A Teoria Atômica de Dalton afirmava que os átomos eram as unidades fundamentais da matéria e eram indivisíveis. No entanto, com o avanço da física de partículas, descobriu-se que os átomos são compostos de partículas menores, como

prótons, nêutrons e elétrons.

- **Átomos de um elemento são idênticos:** A Teoria Atômica de Dalton afirmava que os átomos de um elemento eram idênticos em massa e propriedades químicas. No entanto, descobriu-se que os átomos de um mesmo elemento podem ter diferentes isótopos, que possuem massas atômicas diferentes.
- **Modelo do átomo de Dalton:** O modelo do átomo de Dalton era baseado em átomos esféricos sólidos e indivisíveis. No entanto, os átomos têm uma estrutura mais complexa, com um núcleo central composto de prótons e nêutrons, cercado por elétrons que se movem em órbitas ao redor do núcleo.
- **Propriedades elétricas dos átomos:** A Teoria Atômica de Dalton não levava em conta as propriedades elétricas dos átomos, como sua carga elétrica e a interação entre elétrons e prótons no núcleo atômico.
- **Átomos não podem ser criados ou destruídos:** A Teoria Atômica de Dalton afirmava que os átomos não podem ser criados ou destruídos durante uma reação química. No entanto, a física nuclear demonstrou que é possível converter massa em energia e vice-versa, através de reações nucleares e processos de aniquilação.

Exercício 4

Como a visão do átomo de Dalton começou a ser questionada a partir do descobrimento da radioatividade (Estudos do grupo de Henry Becquerel/Pierre e Marie Curie).

Solução:

O descobrimento da radioatividade pelos estudos do grupo de Henry Becquerel e de Pierre e Marie Curie foi um marco importante para a compreensão da estrutura atômica, pois mostrou que os átomos não eram tão simples e indivisíveis como se pensava na época de Dalton.

A radioatividade consiste na emissão espontânea de partículas subatômicas, como partículas alfa e beta, e radiação eletromagnética, como raios gama, por átomos instáveis. Essa descoberta mostrou que os átomos poderiam se transformar em outros átomos por meio de reações nucleares, o que contradizia a ideia de que os átomos eram indivisíveis.

Além disso, a radioatividade também mostrou que os átomos poderiam ter diferentes isótopos, que possuem massas atômicas diferentes e propriedades químicas semelhantes. Isso contradizia a ideia de Dalton de que os átomos de um mesmo elemento eram idênticos em massa e propriedades químicas.

A descoberta da radioatividade levou a uma série de experimentos e descobertas, como a descoberta do elétron por J.J. Thomson e o modelo atômico de Rutherford, que mostrou a existência do núcleo atômico. Essas descobertas permitiram uma compreensão mais precisa da estrutura atômica e contribuíram para a evolução da teoria atômica.

Exercício 5

Descreva o que é uma “Ampola de Crookes” ou “Tubo de Raios Catódicos”.

Solução:

Uma ampola de Crookes, também conhecida como tubo de raios catódicos, é um dispositivo utilizado para estudar a natureza dos elétrons. É constituída por um tubo de vidro evacuado, com um ânodo (um eletrodo positivo) em uma extremidade e um cátodo (um eletrodo negativo) em outra extremidade.

Quando uma diferença de potencial elétrico é aplicada entre o ânodo e o cátodo, uma corrente elétrica flui através do gás residual na ampola, resultando em uma descarga elétrica. A descarga elétrica consiste em um feixe de elétrons que se movem do cátodo para o ânodo em linha reta.

A ampola de Crookes é assim chamada em homenagem ao físico britânico William Crookes, que a utilizou pela primeira vez em seus experimentos para estudar a natureza dos raios catódicos. A partir da análise do comportamento dos raios catódicos em campos elétricos e magnéticos, Crookes concluiu que eles eram compostos de partículas negativas, agora conhecidas como elétrons.

O tubo de raios catódicos foi um importante dispositivo para a compreensão da estrutura atômica e dos elétrons, e também foi utilizado em outras áreas, como na construção de televisores antigos e monitores de computador CRT.

Exercício 6

Ao se aplicar uma diferença de potencial entre os eletrodos de uma Ampola de Crookes sob vácuo, ocorre o surgimento de um feixe de raios catódicos que se propaga linearmente no interior da ampola.

- (i) Por que esse feixe recebe o nome de raios “catódicos”?
- (ii) Ao se colocar placas eletricamente carregadas ao longo da trajetória dos raios catódicos o que é observado?
- (iii) Ao se aplicar um campo magnético externo ao longo da trajetória dos raios catódicos o que é observado?
- (iv) Qual é a conclusão sobre a natureza dos raios catódicos que pode ser feita a partir dos experimentos mencionados em (ii) e (iii).

Solução:

- (i) O feixe de elétrons que se propaga no interior da ampola de Crookes recebe o nome de raios “catódicos” porque ele é gerado a partir do cátodo, que é o eletrodo negativo da ampola.
- (ii) Ao se colocar placas eletricamente carregadas ao longo da trajetória dos raios catódicos, é observado que os raios são desviados em direção às placas carregadas negativamente e afastados das placas carregadas positivamente. Isso indica que os raios catódicos possuem carga elétrica negativa.

- (iii) Ao se aplicar um campo magnético externo ao longo da trajetória dos raios catódicos, é observado que os raios são desviados em direção a uma das extremidades da ampola. O sentido do desvio depende da polaridade do campo magnético. Isso indica que os raios catódicos possuem momento magnético.
- (iv) A partir dos experimentos mencionados em (ii) e (iii), conclui-se que os raios catódicos são compostos de partículas eletricamente carregadas e com momento magnético, ou seja, partículas que possuem massa e carga elétrica negativa, os elétrons. Essa descoberta contribuiu para a compreensão da estrutura atômica e a evolução da teoria atômica.

Exercício 7

Em relação aos experimentos de J.J. Thomson:

- (i) O que você entende por “deflexão” dos raios catódicos que ocorre ao se aplicar um campo magnético perpendicular à trajetória linear dos raios catódicos?
- (ii) Como a partir da deflexão dos raios catódicos foi possível calcular a razão carga/massa (q/m) do elétron?

Solução:

- (i) A “deflexão” dos raios catódicos ocorre quando um campo magnético externo é aplicado perpendicularmente à trajetória linear dos raios. Esse campo magnético exerce uma força perpendicular à velocidade dos elétrons no feixe, o que faz com que eles sejam desviados de sua trajetória linear.
- (ii) A partir da deflexão dos raios catódicos em um campo magnético perpendicular, J.J. Thomson conseguiu calcular a razão carga/massa (q/m) do elétron. Ele utilizou um campo magnético de intensidade conhecida e observou a deflexão dos raios catódicos em um ângulo conhecido. A partir dessas informações, ele conseguiu calcular a força magnética exercida sobre os elétrons no feixe. Por outro lado, a força elétrica exercida nos elétrons é conhecida, pois é igual ao produto da carga elétrica dos elétrons pela diferença de potencial aplicada na ampola de Crookes. Igualando as forças magnéticas e elétricas, J.J. Thomson pôde calcular a razão carga/massa dos elétrons. O resultado obtido foi muito próximo do valor atualmente aceito para a carga/massa do elétron. Esse experimento foi crucial para a compreensão da estrutura atômica e para o desenvolvimento da teoria atômica.

Exercício 8

- (i) Explique o experimento das “gotas de óleo” de Millikan.
- (ii) Como foi possível determinar a carga do elétron neste experimento.

Solução:

- (i) O experimento das “gotas de óleo” de Millikan consiste em suspender gotas de óleo carregadas eletricamente em uma câmara com gás. As gotas são iluminadas por um feixe de luz, o que permite visualizar o movimento delas através de uma lente de aumento. As gotas são então submetidas a um campo elétrico uniforme gerado por duas placas paralelas carregadas eletricamente. Ao aplicar uma diferença de potencial entre as placas, as gotas são aceleradas ou desaceleradas, dependendo da direção e da intensidade do campo elétrico. Com base na velocidade de queda ou ascensão das gotas, é possível calcular a carga elétrica das mesmas.
- (ii) A determinação da carga do elétron no experimento das “gotas de óleo” de Millikan se dá a partir da observação do movimento das gotas sob a ação de um campo elétrico uniforme. Quando uma diferença de potencial é aplicada entre as placas paralelas, as gotas de óleo sofrem uma força elétrica que as fazem se mover no sentido da placa com carga oposta. Millikan observou que as gotas eram aceleradas ou desaceleradas, dependendo da direção e intensidade do campo elétrico. Ele então ajustou a diferença de potencial até que a velocidade da gota se tornasse constante, ou seja, quando a força elétrica sobre a gota se equilibrava com a força de atrito do ar e a força gravitacional. A partir dessa condição, é possível calcular a carga elétrica da gota. O experimento foi repetido diversas vezes, utilizando diferentes gotas, e os resultados foram utilizados para determinar o valor da carga elementar, que é a carga do elétron. O resultado obtido por Millikan foi muito próximo do valor atualmente aceito para a carga do elétron. Esse experimento foi fundamental para a compreensão da natureza da carga elétrica e para o desenvolvimento da teoria atômica.

Exercício 9

- (i) O que são “raios canal”?
- (ii) Que modificações experimentais são necessárias na Ampola de Crookes para que os raios canais possam ser observados?
- (iii) Qual é a natureza elétrica dos raios canal e como ela resulta a partir dos átomos neutros.
- (iv) Qual a influência do gás residual existente na ampola sobre a magnitude da deflexão dos raios canal quando se aplica um campo magnético.

Solução:

- (i) Os “raios canal” são feixes de partículas carregadas que são emitidos a partir do ânodo de uma Ampola de Crookes em baixas pressões de gás.
- (ii) Para observar os raios canal, é necessário modificar a Ampola de Crookes adicionando um ânodo perfurado, que permite a passagem dos raios canal para fora da ampola. Além disso, a pressão do gás residual na ampola deve ser reduzida para que os raios canal possam se propagar sem sofrer muitas colisões com as moléculas do gás.

- (iii) Os raios canal são constituídos por partículas carregadas negativamente, que foram posteriormente identificadas como elétrons. Os átomos neutros no gás residual na ampola são ionizados pelo bombardeamento de elétrons emitidos pelo cátodo, e os elétrons resultantes são acelerados em direção ao ânodo. Alguns desses elétrons adquirem energia suficiente para escapar do ânodo e são acelerados novamente em direção ao cátodo. Esses elétrons são os raios canal.
- (iv) O gás residual na ampola pode influenciar a magnitude da deflexão dos raios canal quando um campo magnético é aplicado. Isso ocorre porque as moléculas do gás residual colidem com os elétrons dos raios canal, o que pode fazer com que os elétrons se desviem de sua trajetória original. Portanto, para minimizar essa influência, é necessário reduzir a pressão do gás residual na ampola o máximo possível.

Exercício 10

Explique como Rutherford confirmou em 1919 a existência dos prótons.

Solução:

Em 1919, Rutherford realizou um experimento no qual ele bombardeou uma fina lâmina de ouro com partículas alfa (núcleos de hélio). Esperava-se que as partículas alfa passassem através da lâmina com pouca ou nenhuma deflexão, de acordo com o modelo atômico proposto por Thomson.

No entanto, Rutherford observou que algumas das partículas alfa sofreram uma deflexão significativa ou foram até mesmo refletidas de volta para a fonte. Isso só poderia ter sido causado por interações com partículas carregadas positivamente concentradas em um pequeno volume no centro do átomo.

Rutherford concluiu que o átomo contém um núcleo carregado positivamente extremamente pequeno e denso, em torno do qual os elétrons orbitam. Esse modelo também implicava na existência de partículas carregadas positivamente no núcleo, as quais ele chamou de prótons.

Portanto, foi a partir da observação dos resultados do experimento de Rutherford que a existência dos prótons foi confirmada, o que ajudou a desenvolver o modelo atômico atual.

Exercício 11

- (i) Explique como Chadwick descobriu/caracterizou os nêutrons.
- (ii) Por que inicialmente se pensava que os nêutrons eram radiação eletromagnética na região dos raios gama (γ)?

Solução:

- (i) Em 1932, James Chadwick realizou uma série de experimentos nos quais bombardeou núcleos de berílio com partículas alfa, produzindo um tipo de radiação que possuía alta penetração e nenhum desvio em campos elétricos ou magnéticos.

Chadwick concluiu que essa radiação consistia de partículas neutras, as quais ele chamou de nêutrons. Ele determinou que os nêutrons possuíam massa semelhante à do próton e eram capazes de penetrar em materiais densos sem sofrer desvio, pois não possuíam carga elétrica. Essa descoberta foi fundamental para entender a estabilidade dos núcleos atômicos e para o desenvolvimento da bomba atômica.

- (ii) Inicialmente, os nêutrons foram confundidos com radiação eletromagnética na região dos raios gama (γ), porque não possuíam carga elétrica e não eram afetados por campos elétricos ou magnéticos. Além disso, os nêutrons possuem massa semelhante à do próton, o que também levou à confusão, uma vez que partículas com massa semelhante são encontradas na radiação eletromagnética (como fótons, por exemplo). No entanto, experimentos posteriores demonstraram que os nêutrons eram partículas distintas com características únicas, como a capacidade de serem capturados pelos núcleos atômicos e de sofrerem decaimento beta.

Exercício 12

Descreva o modelo atômico de J.J. Thomson (“modelo pudim de passas”).

Solução:

O modelo atômico proposto por J.J. Thomson, também conhecido como “modelo pudim de passas”, foi proposto em 1904. Segundo esse modelo, o átomo era uma esfera uniforme de carga positiva, na qual elétrons de carga negativa estavam imersos como passas em um pudim. O modelo foi baseado em experimentos com raios catódicos que mostraram a existência de partículas com carga negativa (os elétrons) e a carga positiva da matéria terrestre. A presença de elétrons em átomos neutros foi uma descoberta fundamental para a compreensão da estrutura atômica. Ainda assim, esse modelo não conseguiu explicar a natureza da carga positiva e a estrutura do núcleo atômico.

Exercício 13

Descreva o modelo atômico de Rutherford e em que evidências experimentais ele se baseou para estabelecer o “modelo planetário do átomo”.

Solução:

O modelo atômico proposto por Ernest Rutherford em 1911 é conhecido como “modelo planetário do átomo”. Segundo esse modelo, o átomo é constituído por um núcleo pequeno e denso no centro, com prótons (partículas com carga positiva) e nêutrons (partículas neutras), ao redor do qual giram elétrons (partículas com carga negativa) em órbitas circulares.

O modelo planetário de Rutherford foi baseado em experimentos de espalhamento de partículas alfa em uma fina lâmina de ouro. Ao analisar os resultados desses experimentos, Rutherford concluiu que a carga positiva e a maior parte da massa do átomo estão concentradas em um pequeno núcleo central, enquanto a maior parte do volume do átomo é composta por espaços vazios nos quais os elétrons se movem. Além disso, o modelo planetário também prevê que as órbitas dos elétrons têm energias definidas e que a luz é emitida ou absorvida quando um elétron se move de uma órbita para outra.

Embora o modelo planetário tenha sido um avanço significativo na compreensão da estrutura atômica, ele foi posteriormente substituído por modelos mais sofisticados que levaram em conta a natureza ondulatória dos elétrons e a impossibilidade de saber com precisão sua posição e velocidade simultaneamente (o chamado Princípio da Incerteza de Heisenberg). No entanto, o modelo planetário ainda é útil para ilustrar os conceitos básicos da estrutura atômica e é frequentemente ensinado em cursos introdutórios de química e física.

Exercício 14

- (i) Que partícula subatômica define um elemento químico? Justifique.
- (ii) Defina:
 - (a) Número Atômico (Z);
 - (b) Número de Massa (A);
 - (c) Isótopo.
- (iii) Defina:
 - (a) Unidade de Massa Atômica (u ou uma);
 - (b) Abundância Isotópica de um Elemento.

Solução:

- (i) A partícula subatômica que define um elemento químico é o número atômico (Z), que corresponde ao número de prótons presentes no núcleo do átomo desse elemento. Isso ocorre porque o número de prótons define as propriedades químicas do elemento, como o número de elétrons no átomo neutro e a forma como esses elétrons interagem com outros átomos.
- (ii)
 - (a) O número atômico (Z) é o número de prótons presentes no núcleo de um átomo. É o número que define a identidade do elemento químico.
 - (b) O número de massa (A) é a soma do número de prótons e nêutrons presentes no núcleo de um átomo.

- (c) Isótopo é a designação dada a átomos de um mesmo elemento químico que apresentam o mesmo número atômico (mesmo número de prótons) e diferentes números de massa (diferente número de nêutrons). Isótopos de um mesmo elemento químico possuem propriedades químicas semelhantes, mas podem apresentar diferenças físicas, como massa e radioatividade.
- (iii) (a) A unidade de massa atômica (u ou uma) é a massa de $1/12$ do átomo de carbono-12. É utilizada para expressar massas atômicas em uma escala relativa, onde 1 u é aproximadamente igual à massa de um próton ou um nêutron.
- (b) A abundância isotópica de um elemento é a proporção relativa de cada isótopo desse elemento na natureza. É expressa em porcentagem ou em fração decimal. A abundância isotópica é importante na determinação da massa atômica média de um elemento.

Exercício 15

- (i) Explique o funcionamento de um equipamento de espectrometria de massa.
- (ii) Qual a correlação deste equipamento com uma “Ampola de Crookes”.
- (iii) Explique como é determinada a Massa Atômica (u/uma) de um elemento utilizando um espectrômetro de massa.

Solução:

- (i) A espectrometria de massa é uma técnica analítica que permite a identificação e quantificação de átomos ou moléculas em uma amostra, com base em suas massas. O equipamento consiste em três componentes principais: uma fonte de íons, um analisador de massa e um detector. Na primeira etapa, a amostra é ionizada para formar íons carregados positivamente. Em seguida, os íons são acelerados através de um campo elétrico e são separados de acordo com suas massas em um analisador de massa. Por fim, os íons são detectados e o sinal é amplificado e registrado para produzir um espectro de massa.
- (ii) A correlação entre um espectrômetro de massa e uma Ampola de Crookes reside no fato de que ambos utilizam campos elétricos e/ou magnéticos para separar partículas carregadas com base em sua massa. Na Ampola de Crookes, os raios catódicos são desviados por campos elétricos e magnéticos, enquanto que em um espectrômetro de massa, os íons são separados por um campo elétrico e/ou magnético.
- (iii) A massa atômica (u/uma) de um elemento é determinada usando um espectrômetro de massa a partir da comparação das massas dos íons produzidos com as massas conhecidas dos íons de referência. O primeiro passo é ionizar a amostra do elemento que se deseja determinar a massa atômica, geralmente por meio de um feixe de elétrons ou por um processo de ionização por eletro-spray. Os íons são então acelerados através de um campo elétrico e passam por um campo magnético, que os separa com base em suas massas. Os íons são então detectados, e o espectro de massa resultante mostra os diferentes picos correspondentes aos diferentes íons formados. A massa atômica do elemento é então determinada a partir

da relação entre a intensidade dos picos e as massas dos íons, comparadas com as massas conhecidas dos íons de referência.

Exercício 16

Moléculas também são analisadas por espectrometria de massa.

- (i) Como se formam os fragmentos moleculares?
- (ii) O que é o “pico molecular” na espectrometria de massa?

Solução:

- (i) Na espectrometria de massa de moléculas, os fragmentos são formados a partir da quebra de ligações químicas nas moléculas, que ocorre quando elas são submetidas a alta energia, geralmente na forma de colisão com íons acelerados. Isso pode levar à perda de grupos funcionais inteiros ou de átomos individuais, produzindo fragmentos com massa menor do que a da molécula original.
- (ii) O pico molecular na espectrometria de massa é o pico correspondente à massa molecular da molécula intacta. Este pico é útil para determinar a massa molecular de uma molécula, que pode ser usada para identificar a molécula e determinar sua composição química. O pico molecular é geralmente o pico mais intenso no espectro de massa de uma molécula, mas pode ser afetado por diferentes fatores, como a presença de isótopos e a eficiência da ionização.

References

- Atkins, Peter and Loretta Jones (2011). *Principles of chemistry: a molecular approach*. W. H. Freeman.
- Brown, Theodore L et al. (2009). *Chemistry: the central science*. Prentice Hall.
- Chadwick, J (1932). “Possible existence of a neutron”. *Nature* **129**.3252, pp. 312–312.
- Levine, Ira N (2001). *Quantum chemistry*. Prentice Hall.
- Millikan, RA (1913). “On the elementary electric charge and the Avogadro constant”. *Physical Review* **2**.2, pp. 109–143.
- Rutherford, E (1911). “The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom”. *Philosophical Magazine* **21**.124, pp. 669–688.
- Thomson, J (1897). “Cathode rays”. *Philosophical Magazine Series 5* **44**.269, pp. 293–316.