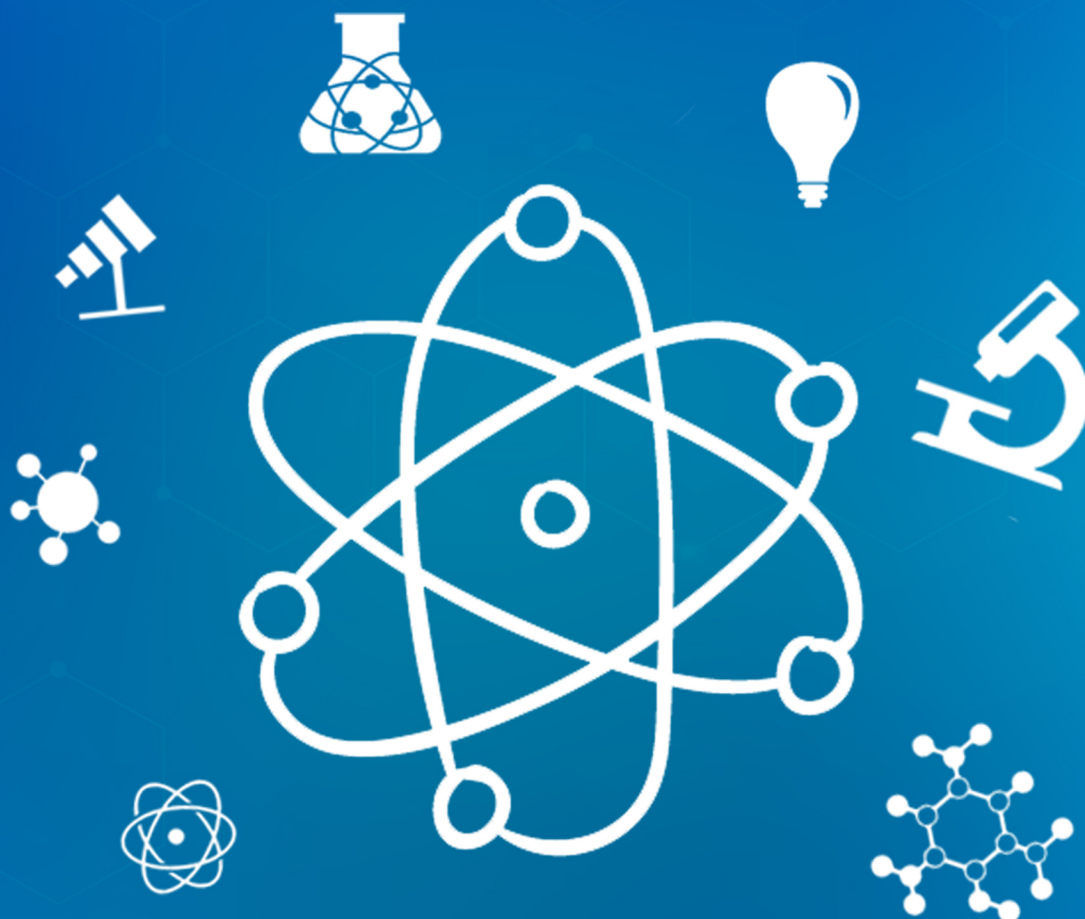


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA
EM REDE NACIONAL - PROFQUI



SEQUÊNCIA DIDÁTICA
EXPLORANDO OS
**DIAGRAMAS
DE RICH-SUTER**
NO ESTUDO DE CONFIGURAÇÕES ELETRÔNICAS

RAIMUNDO MARCOLINO DE MORAIS NETO
PROF. DR. ÓTOM ANSELMO DE OLIVEIRA
PROF. DR. MELQUESEDEQUE DA SILVA FREIRE

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a),

Este material é o produto educacional desenvolvido na pesquisa de Raimundo Marcolino de Moraes Neto no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PROFQUI – UFRN). Ele é constituído por uma proposta de sequência didática resultante de uma experiência inicial com estudantes de graduação em Química. A partir da análise e reflexão sobre os resultados dessa experiência, apresenta-se este material, objetivando auxiliar em sua prática docente no que concerne à apresentação do conteúdo de configurações eletrônicas.

Nesta proposta, o estudo e a compreensão das configurações eletrônicas, sobretudo para os metais de transição, são efetuadas por meio de uma sequência de atividades utilizando, principalmente, os diagramas desenvolvidos por Rich-Suter (1988). Todas as atividades aplicadas durante o processo possuem objetivos específicos destacados, bem como questões essenciais e adicionais que são sugeridas para observar, aprofundar e melhorar os conhecimentos relacionados a determinados pontos desse tópico. Em complementação, são apresentadas outras questões visando ao desenvolvimento de habilidades no uso desses diagramas pelos participantes e avaliar indícios de apropriação de novos conhecimentos.

A partir dos conteúdos inseridos neste produto educacional, são sugeridas diversas recomendações de abordagem desse tema no ensino de graduação, o que não impede que a proposta possa ser ampliada e explorada em outras direções. Buscou-se redigir o material em uma linguagem bem acessível e de fácil entendimento ao leitor.

Espera-se que o uso desse material possa contribuir na melhoria dos conhecimentos sobre os arranjos eletrônicos, bem como auxiliar os professores no processo de instrução dos seus alunos com informações cada vez mais corretas.

Ficou interessado?

Então, venha descobrir como angariar avanços nos conhecimentos referentes às configurações eletrônicas de átomos e íons dos elementos químicos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, em especial pela força que recebi para alcançar esta vitória tão desejada.

Agradeço aos amigos e familiares, principalmente à minha esposa que esteve comigo durante todo esse tempo, contribuindo com palavras de incentivo e encorajamento.

Agradeço à coordenação e aos professores do PROFQUI – UFRN, pelos ensinamentos prestados.

Agradeço aos meus professores orientadores, Dr. Ótom Anselmo de Oliveira e Dr. Melquesedeque da Silva Freire, pelas instruções durante a construção deste trabalho.

Enfim, agradeço à CAPES, pelo financiamento da pesquisa que gerou este produto educacional.

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| OBJETIVO GERAL | 5 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 5 |
| SEQUÊNCIA DIDÁTICA | 6 |
| 1º MOMENTO: Levantamento de conhecimentos prévios | 7 |
| 2º MOMENTO: A utilização de experimentos com fenômenos luminosos | 11 |
| 3º MOMENTO: Explorando os problemas existente no diagrama de Linus Pauling | 16 |
| 4º MOMENTO: Explorando os diagramas de Rich-Suter na elaboração de configurações eletrônicas | 22 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 37 |
| APÊNDICE | 39 |

Objetivo Geral

Apresentar uma proposta de sequência de atividades como recurso auxiliar à abordagem didática do conteúdo de configurações eletrônicas.

Objetivos Específicos

Compreender as configurações eletrônicas de átomos e íons relacionando diferentes aspectos do conhecimento químico – fenomenológico, teórico e simbólico – associados a esse tema;

Reconhecer problemas e limitações do diagrama de Linus Pauling para a representação de configurações eletrônicas de alguns átomos e íons;

Conhecer os diagramas de Rich-Suter (1988) e utilizá-los para a elaboração de configurações eletrônicas de átomos e íons de elementos de transição.

Sequência Didática

A sequência didática (SD) utilizada neste trabalho foi planejada a partir do entendimento sobre as características e itens apontados por Zabala (1998), que define SD como:

um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. (ZABALA, 1998 p. 18).

A SD foi desenvolvida e estruturada a partir de atividades diversificadas, explorando as configurações eletrônicas de átomos e íons, especialmente aquelas dos elementos de transição. A proposta visa contribuir para a abordagem desse tema junto a professores de química de diferentes níveis de ensino.

Para que se tenha uma maior rapidez na tomada de decisões durante a SD, assim como um maior esforço individual, recomenda-se que as atividades realizadas em equipe integrem a participação de, no máximo, 3 componentes por grupo.

Enfatiza-se também que esta sequência constitui uma sugestão para o trabalho com esse conteúdo, mas que pode ser adaptada, de acordo com as demandas e critérios do(a) professor(a), em relação ao seu contexto, público-alvo, e à forma que julgar mais adequada sobre como aplicar e avaliar as atividades propostas.

Os materiais sugeridos para consulta, como vídeos e artigos disponíveis na internet, são indicados e referenciados nos sites em que podem ser acessados.

1º Momento

Levantamento de conhecimentos prévios

Duração -
50 minutos

Conteúdo:

Configurações eletrônicas.

Objetivo:

Conhecer ideias prévias dos participantes referentes ao tópico configurações eletrônicas.

Recurso Utilizado:

Questionário de sondagem.

Metodologia

Como proposta inicial, orientamos que se aplique uma atividade para levantar as ideias prévias dos participantes sobre a temática que envolve as configurações eletrônicas dos elementos químicos (tempo estimado: 50 min). Essa etapa é importante tanto para diagnosticar os conhecimentos iniciais e, assim, obter um panorama das dificuldades de aprendizagem e possíveis concepções alternativas dos participantes, quanto para auxiliar no direcionamento e tomada de decisão pelo(a) professor(a) sobre aspectos que necessitarão de maior atenção durante as atividades posteriores. O questionário contém sete questões abertas.

Os participantes deverão responder, de forma individual, ao questionário, o qual deverá ser recolhido e analisado após o término. Caso haja necessidade, de acordo com o contexto dos participantes, o(a) professor(a) poderá efetuar modificações nas perguntas do instrumento, de modo a torná-las mais claras.



Atividade de conhecimentos prévios

QUESTÃO 01

O que você entende por configuração eletrônica de um átomo?

QUESTÃO 02

Como você descreve as configurações eletrônicas de átomos e íons e que recurso costuma utilizar?

QUESTÃO 03

Você acha que existe alguma relação entre as configurações eletrônicas dos átomos e as propriedades das substâncias e materiais? Justifique sua resposta.

QUESTÃO 04

Você conhece algum fenômeno que pode ser explicado pelo conhecimento das configurações dos átomos? Se sim, explique.

QUESTÃO 05

Quais as configurações eletrônicas dos átomos Crômio ($Z=24$); Níquel ($Z=28$) e Nióbio ($Z=41$) em seus estados fundamentais?

QUESTÃO 06

O cobre ($Z=29$) tem muitas aplicações no cotidiano, tais como: fabricação de moedas, medalhas e fios. Com base em seus conhecimentos, apresente a configuração eletrônica do íon Cu^+ .

2º Momento

A utilização de experimentos com fenômenos luminosos.

Duração -
100 minutos

Conteúdo:

Espectros dos elementos químicos.

Objetivos:

Observar os diferentes fenômenos envolvendo a emissão de luz por algumas substâncias e materiais;

Interpretar os dados observados relacionando-os com modelos teóricos das configurações eletrônicas dos átomos e íons.

Recursos utilizados:

Lousa | Vídeos | Internet | Pincel atômico | Tabela periódica | Circuito dotado de interruptor de energia e adaptador soquete com tomada plug bipino | Lâmpada fluorescente | Lâmpada incandescente | Projetor multimídia / Computador | Caixas de som (podem ser conectadas ao computador).

Metodologia:

Inicialmente, é indicado que o(a) professor(a) realize um experimento simples, no qual sejam utilizados uma lâmpada incandescente e um adaptador soquete com tomada plug bipino, ilustrados, respectivamente, pela Figura 1 e pela Figura 2. Os dois deverão ser conectados e, em seguida, o interruptor deve ser ligado. O procedimento deve ser repetido com uma lâmpada fluorescente (Figura 3). Os participantes deverão anotar suas observações, para discuti-las na etapa seguinte.

Figura 1- Lâmpada incandescente



Fonte: <https://bit.ly/2EC98cB>.

Figura 2- Adaptador soquete com tomada bipino



Fonte: <https://bit.ly/335rqw2>.

Figura 3 – Lâmpada fluorescente



Fonte: <https://bit.ly/3j7S5hz>.

Durante os experimentos, o foco principal deve ser os aspectos macroscópicos dos fenômenos observados e, concluída essa etapa, o(a) professor(a) deverá introduzir uma discussão dos aspectos submicroscópicos associados ao fenômeno, a partir das seguintes perguntas:

Por que a luz emitida pela lâmpada incandescente é amarela?

Por que a luz emitida pela lâmpada fluorescente é branca?

É importante que, nessa etapa, os participantes sejam encorajados a manifestar suas ideias e as suas respostas às questões propostas. Nesse momento, o(a) professor(a) pode mediar o processo, estimulando a explicitação das ideias e introduzindo outras questões, se necessário. É importante sempre manter a discussão com a turma para cultivar respostas e a percepção dos participantes em torno da temática abordada.

Após a discussão, recomenda-se que o(a) professor(a) discorra, de forma expositiva, sobre as teorias envolvidas nesse tópico, como espectroscopia atômica e modelo atômico de Bohr, buscando estabelecer relações entre os níveis do conhecimento químico, macroscópico (fenomenológico) e submicroscópico (teórico). Em seguida, deve-se introduzir também a abordagem de aspectos do nível representacional utilizando as distribuições eletrônicas dos seguintes átomos presentes nas lâmpadas: tungstênio, na lâmpada incandescente, e argônio e mercúrio, na lâmpada fluorescente.



Professor(a), para a conclusão deste momento, sugere-se a utilização dos seguintes vídeos:

O Funcionamento das Lâmpadas Fluorescentes.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dEwRG9EpWzY>

Espectro da Luz. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=8f87mDoEcxs&t=1s>

Dicas de Ciência – O Que é uma Lâmpada Incandescente.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YTBiGnkFerA&t=41s>

Concluída a apresentação dos vídeos, sugere-se também a apresentação de imagens e vídeos, exibindo experimentos relacionados ao teste de chama de átomos e íons, para discutir o tópico sobre as transições eletrônicas e seus espectros. Essa sugestão se deve a questões de segurança e agilidade.



Professor(a), como indicação para a realização dessa seção, sugere-se a utilização do vídeo Laboratório de Química – Espectros. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=Wn3hGcmnrTk>

Por fim, recomenda-se que o(a) professor(a) apresente, através de ilustrações ou vídeos, outros fenômenos do cotidiano que estejam relacionados ao referido tópico, tais como: as diferentes cores apresentadas pelos fogos de artifícios, o processo de utilização da substância luminol para identificar pequenas quantidades de íons, o brilho das pulseiras de neon, entre outros. A finalidade dessa etapa consiste em favorecer o reconhecimento da relação entre esses fenômenos e aqueles observados nas etapas anteriores.



Professor(a), para a realização dessa seção, indica-se a utilização dos seguintes vídeos:

Como fazer fogo colorido (EXPERIMENTOS de QUÍMICA).

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=0Me_X-oh2mc

Experimentos de Química: Luminol e fenômeno da catálise.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9pRsoWQ21WM>

3º Momento

Explorando os problemas existente no diagrama de Linus Pauling

Duração -
100 minutos

Conteúdo:

Diagrama de Linus Pauling.

Objetivo:

Apresentar os problemas e as limitações existentes no diagrama de Linus Pauling para as configurações eletrônicas de alguns átomos e íons.

Recursos Utilizados:

Lousa

Questionário

Pincel atômico

Metodologia

Como parte inicial do 3º momento, propõe-se a aplicação de uma atividade para sondar os conhecimentos dos participantes referentes a problemas e limitações existentes no diagrama de Linus Pauling. O questionário contém cinco questões abertas, estas exploram os conhecimentos relacionados às configurações eletrônicas de átomos e íons dos elementos químicos utilizando esse diagrama. Caso haja necessidade, de acordo com o contexto dos participantes, o(a) professor(a) poderá acrescentar ou modificar as perguntas da atividade.

Essa situação será aplicada pelo(a) professor(a) com os participantes, os quais deverão responder em grupos que tenham um número máximo de 3 componentes, como forma de agilizar na tomada de decisões.



Atividade de configurações eletrônicas

QUESTÃO 01

Considerando que o subnível de menor energia é o mais estável, qual deles em cada alternativa apresenta maior estabilidade?

a) 3p ou 4s

b) 3d ou 4s

c) 4d ou 5s

QUESTÃO 02

O sódio metálico (Na) é muito reativo, se oxida com o ar, reage violentamente com a água e é muito corrosivo quando entra em contato com a pele. No entanto, quando perde um elétron, transforma-se no íon sódio (Na^+) que é muito estável. Descreva as configurações eletrônicas do átomo (Na) e do íon (Na^+).

Dado: Número atômico Na = 11.

QUESTÃO 03

O níquel (Ni) é um metal bastante utilizado de forma pura para a produção de protetores de peças metálicas devido a sua alta resistência a corrosão. Além disso, também é empregado na produção de ligas metálicas. Uma dessas ligas é a nitinol, composta por níquel (Ni) e titânio (Ti). Preveja as configurações eletrônicas desses metais em seus estados fundamentais.

Dados: Números atômicos Ti = 22, Ni = 28.

QUESTÃO 04

O crômio (Cr) é um metal muito resistente à corrosão, mas que pode existir em diferentes estados de oxidação. Preveja as configurações eletrônicas das espécies químicas Cr, Cr^{+3} e Cr^{+6} .

Dado: Número atômico Cr = 24

QUESTÃO 05

Apesar de não ser encontrado de forma livre na natureza, o nióbio (Nb) é um metal muito utilizado comercialmente. Utilizando o diagrama de Pauling, elabore a configuração eletrônica do nióbio em seu estado fundamental, e verifique se é compatível com sua configuração experimental descrita na literatura química. Dados: Número atômico Nb = 41

Configuração experimental do nióbio (Nb): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^4 5s^1$

Após os grupos terminarem de responder, sugere-se que o(a) professor(a) solicite aos participantes que apresentem suas respostas na lousa. Esse é um bom momento para explorar coletivamente os problemas relacionados à ordem de preenchimento dos orbitais utilizando o diagrama de Linus Pauling, assim como as limitações do diagrama para a elaboração de configurações eletrônicas de átomos e íons de alguns elementos químicos.



É interessante que, nesse momento, as cadeiras estejam dispostas em círculo, para uma discussão mais interativa do conteúdo abordado.

Recomenda-se também que seja utilizado o material disponível no Apêndice acerca da carga nuclear efetiva, para uma melhor compreensão do tópico versado.

SAIBA MAIS

Professor(a), para um estudo mais profundo do tópico explorado nesse momento da sequência didática, recomenda-se a utilização de algumas referências como leituras adicionais, assim como um vídeo ilustrativo acerca da carga nuclear efetiva.

SALEHZADEH, Sadegh; MALEKI, Farahnaz. The 4s and 3d subshells: which one fills first in progressing through the periodic table and which one fills first in any particular atom?. : Which one fills first in progressing through the periodic table and which one fills first in any particular atom?. Foundations Of Chemistry, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 57-65, 1 fev. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

Scerri, E.R.: The trouble with the aufbau principle. Educ. Chem., 50(6), 24-26 (2013). See this article on the Education in Chemistry website: <http://rsc.li/EiC0613aufbau>.

SCHWARZ, W. H. Eugen. The Full Story of the Electron Configurations of the Transition Elements. Journal Of Chemical Education, [s.l.], v. 87, n. 4, p. 444-448, abr. 2010. American Chemical Society (ACS).

SLATER, J. C. Atomic shielding constants. Phys. Rev., v.36, p. 57-64, 1930.

Vídeo MegaQuímica#3 Carga Nuclear Efetiva e Blindagem Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=u9NdFLzMQIs>

4º Momento

Explorando os diagramas de Rich-Suter na elaboração de configurações eletrônicas

Duração -
150 minutos

Conteúdo:

Diagramas de Rich-Suter

Objetivo:

Utilizar os diagramas de Rich-Suter para a elaboração de configurações eletrônicas de átomos e íons dos elementos de transição.

Recursos Utilizados:

Lousa | Questionário | Pincel atômico
Projector multimídia / Computador

Metodologia

Iniciando o 4º momento, sugere-se que o professor(a) enfatize bem aos participantes, a necessidade de se utilizar um novo recurso para estudo de espécies químicas cujas configurações eletrônicas não podem ser descritas com a utilização do diagrama de Linus Pauling. Em seguida, aconselha-se perguntar aos participantes se conhecem outro(s) recurso(s) para auxiliar na elaboração de configurações eletrônicas.

Logo depois, o(a) professor(a) deverá apresentar o recurso desenvolvido por Rich-Suter (1988) para auxiliar na elaboração de configurações eletrônicas. Como é um método que possui poucas publicações na literatura em química e ensino de química, sugere-se começar apresentando um pouco da fundamentação teórica.



Conhecendo os diagramas de Rich-Suter

Os diagramas desenvolvidos por Rich-Suter foram publicados em um artigo no *Journal Chemical Education*, volume 65, Nº 8, de 1988, com o intuito de explicar, de forma mais compreensível, as configurações eletrônicas de todos os elementos de transição, principalmente aqueles considerados especiais ou anômalos.

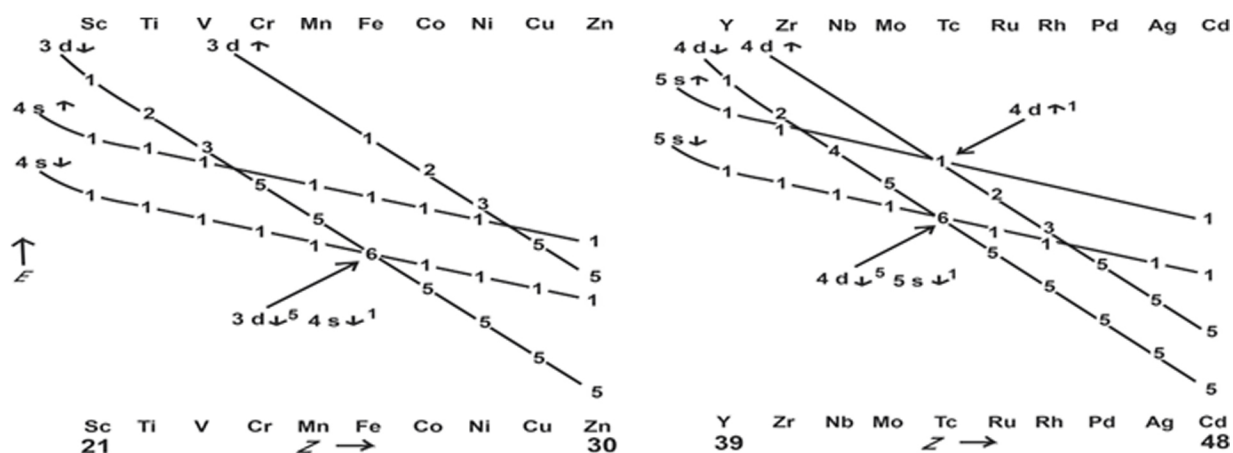
Esses diagramas são constituídos por gráficos que representam as energias dos elétrons em cada orbital dos subníveis de valência de cada elemento, calculadas a partir da equação de Schrodinger. Na construção desses diagramas para elementos do bloco d, Rich-Suter dispuseram os gráficos correspondentes aos subníveis nd e $(n+1)s$ da camada de valência dos elementos de cada período de transição na ordem crescente de suas energias. Para elementos do bloco f, o procedimento foi o mesmo, mas utilizando os gráficos das variações de energia dos subníveis nf e $(n-1)d$.

É importante destacar que as energias dos elétrons em cada orbital de átomos polieletrônicos não dependem simplesmente das cargas nucleares desses átomos, pois efeitos de blindagem, causados pelo conjunto de elétrons, neutralizam parcialmente estas cargas. Essas energias dependem, então, da carga que efetivamente atua sobre cada elétron, denominada carga nuclear efetiva, e, ainda, de efeitos magnéticos devidos aos spins e aos movimentos eletrônicos em cada orbital.

Nessa oportunidade, recomenda-se que o(a) professor(a), utilizando slides, apresente os diagramas construídos por Rich-Suter, e descreva a existência de gráficos específicos para cada série dos elementos de transição. Esse alerta serve tanto para átomos em seus estados fundamentais quanto para os íons.

A Figura 4 demonstra o comportamento da variação de energia dos subníveis s e d, em função dos números atômicos, para átomos dos elementos químicos da 1ª e 2ª série de transição.

Figura 4: Energia dos Subníveis de Átomos Isolados dos Elementos do Primeiro e Segundo Período dos Elementos de Transição



Fonte: Rich-Suter (1988, p. 703).

Nas descrições desses diagramas, inicialmente o(a) professor(a) deve mostrar que as taxas de variação de energia são diferentes para cada subnível, o que provoca o cruzamento dos respectivos gráficos em alguns pontos dentro das séries em destaque. Ele deve explicar que isso se deve ao fato de a distância entre elétrons dos subníveis nd ser menor do que a distância de elétrons do (n+1)s em relação aos núcleos atômicos. Para os elementos do bloco f, cabe a mesma explicação, mas, neste caso, os subníveis em evidência são os nf e (n+1)d.

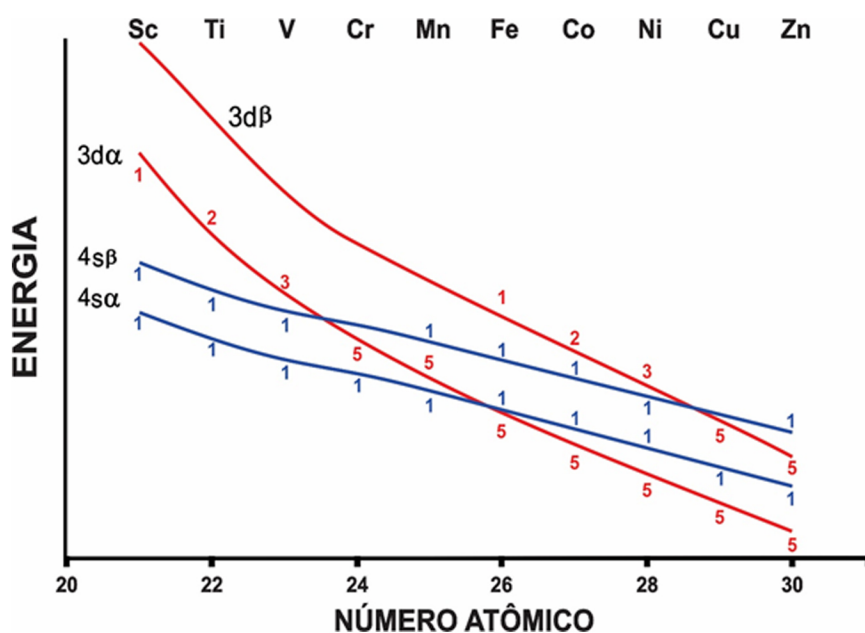
É também importante esclarecer aos participantes que o cruzamento representado nos gráficos pelo numero seis, é decorrente da interceptação entre um dos níveis 3d e 4s, assim como entre um dos níveis 4d e 5s dessas séries dos elementos de transição. As quantidades de elétrons inclusa nesses subníveis d e s, correspondem respectivamente a cinco e um.

Caro(a) professor(a), agora que os participantes possuem um panorama geral sobre os diagramas de Rich-Suter, a partir desse momento, sugere-se abordar sua aplicação para a elaboração de configurações eletrônicas.

Funcionamento

Nessa oportunidade, recomenda-se que o professor(a) mostre na lousa o diagrama dos elementos da primeira série de transição a ser explorado.

Figura 5: Energia dos Orbitais 3d e 4s para Átomos isolados da Primeira Série de Transição em seu Estado Fundamental.



Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p.894).

Nesse sentido, deve-se comunicar aos participantes que uma das coisas fundamentais quando se utilizam os diagramas de Rich-Suter para auxiliar na elaboração de configurações eletrônicas é que os elétrons devem ser adicionados nos orbitais seguindo uma ordem crescente de energia considerando dois níveis: o alfa (α), para elétrons desemparelhados possuindo menor energia, e o beta (β), para elétrons emparelhados com maior energia.

É necessário esclarecer também que, em referência ao $4s\alpha$, por exemplo, só é possível entrar um elétron, pois no orbital $4s$ tem-se apenas um elétron com spin α , aplicando-se o mesmo raciocínio para $4s\beta$. No subnível $3d$, existem cinco orbitais degenerados representados por $3d\alpha$ que podem acomodar até cinco elétrons com spin α . Caso existam outros elétrons para ocupar o subnível $3d$, estes podem ser acomodados nos cinco orbitais degenerados representados por $3d\beta$ que podem acomodar até cinco elétrons, desde que estes tenham spin β . Quando o orbital a ser preenchido for o f , deve-se seguir o mesmo raciocínio. Um $4f\alpha$ representa sete elétrons degenerados, uma vez que há sete elétrons com spin α ; e os outros sete elétrons, se necessário, serão de spin β . Em seguida, deve-se demonstrar na lousa como ocorre a elaboração da configuração eletrônica do Crômio utilizando os diagramas de Rich-Suter.

Primeiramente, é primordial explicar aos participantes que as configurações devem ser elaboradas de forma normal como se estivesse utilizando os diagramas de Pauling, e que somente os orbitais expostos nos gráficos vão ser preenchidos utilizando os diagramas de Rich-Suter. Dessa forma, como o Crômio possui 24 elétrons a serem distribuídos e $[\text{Ar}]$ representa 18 elétrons, ficam restando apenas seis elétrons a serem preenchidos entre os orbitais $3d$ e $4s$. Seguindo uma linha vertical, a qual obedece a uma ordem crescente de energia no gráfico a partir do número atômico 24, a primeira linha a ser tocada é a $4s\alpha$, onde deve entrar um elétron. Os cinco elétrons restantes devem entrar no $3d\alpha$, que é a segunda linha a ser tocada, ocasionando uma configuração $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$, compatível com o resultado experimental.

Por fim, é necessário comunicar aos participantes que o mesmo procedimento pode ser aplicado a qualquer espécie de transição exceto Ce, Pa, U, Np e Cm.

Praticando

Vamos praticar?

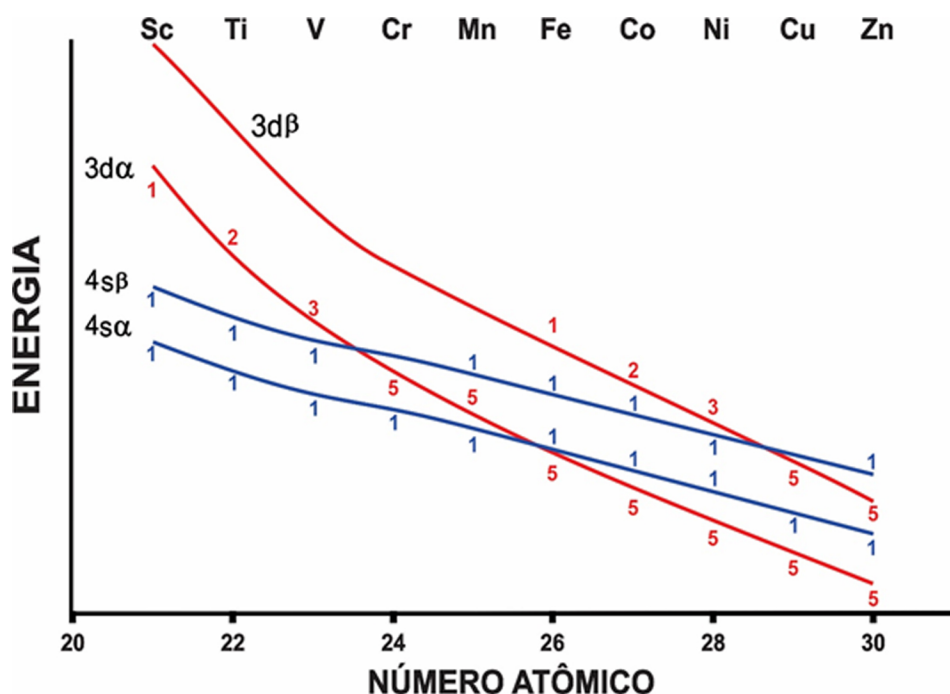
Em um segundo momento, sugere-se que a atividade a seguir, que contém questões abertas, seja aplicada aos participantes de modo a explorar e avaliar seus primeiros conhecimentos sobre os diagramas de Rich-Suter desenvolvidos até então. Os participantes devem responder à atividade de maneira individual.

Atividade utilizando o diagrama de Rich-Suter

QUESTÃO 01

Utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na Figura 6, elabore as configurações eletrônicas dos átomos de Titânio ($Z=22$) e Cobre ($Z=29$) em seus estados fundamentais.

Figura 6: Energia dos Orbitais 3d e 4s para Átomos isolados da Primeira Série de Transição em seu Estado Fundamental

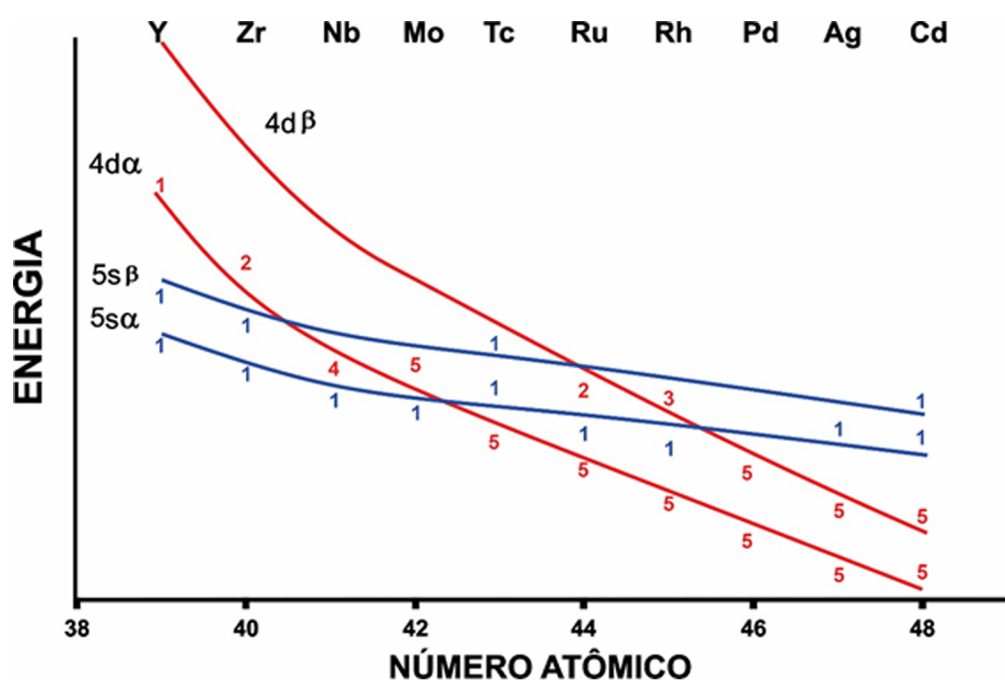


Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p. 894)

QUESTÃO 02

Utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na Figura 7, elabore as configurações eletrônicas dos átomos Nióbio ($Z=41$) e Paládio ($Z=47$) em seus estados fundamentais.

Figura 7: Energia dos Orbitais 4d e 5s para Átomos isolados da Segunda Série de Transição em seu Estado Fundamental



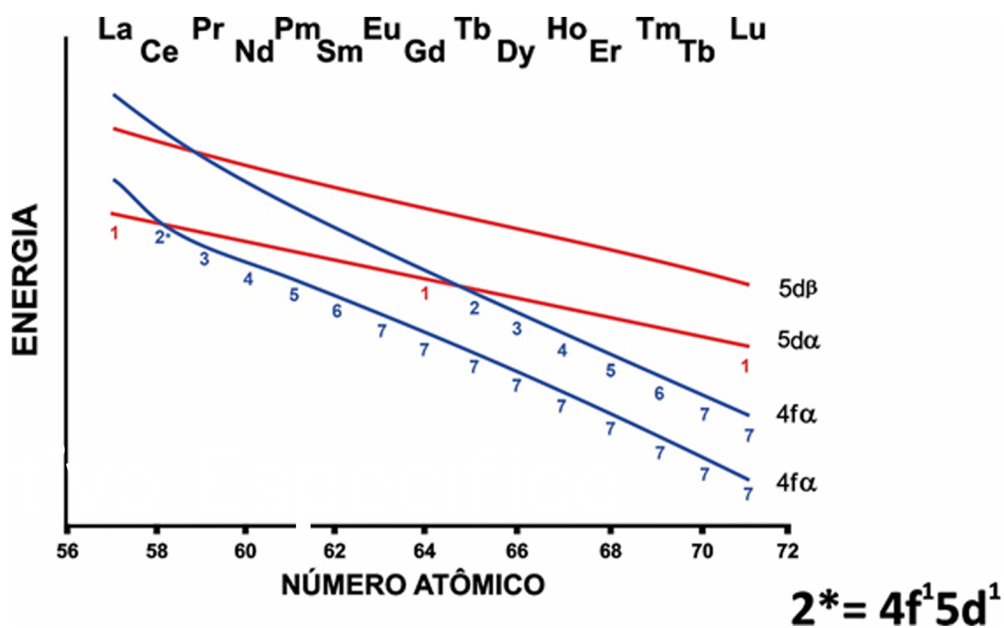
Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p. 894).

QUESTÃO 03

Apesar de não ser encontrado na natureza como elemento livre, o neodímio (Nd) é muito utilizado na fabricação de ímãs permanentes muito poderosos. Preveja a configuração do neodímio utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na Figura 8.

Dado: Número atômico Nd = 60

Figura 8: Energia dos Orbitais 5d e 4f para Átomos isolados de Lantanídeo em seu Estado Fundamental

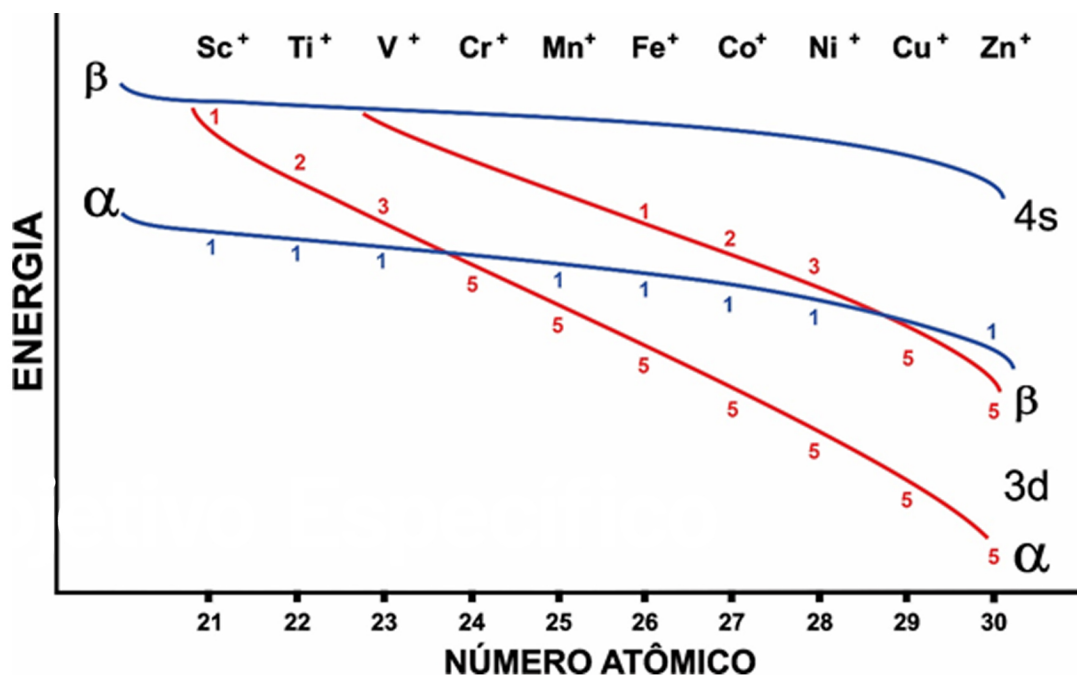


Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p. 895).

QUESTÃO 04

O cobre (Cu) é um metal de transição que pode ser encontrado como Cu (I), Cu (II), Cu (III) e Cu (IV), sendo o único da primeira linha do bloco d que apresenta o estado de oxidação +1 estável. Utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na Figura 9, elabore a configuração do íon Cu^+ .

Figura 9: Energia dos Orbitais 3d e 4s para Átomos isolados da Primeira Série de Transição depois que Perde Um Elétron para formar íon +1



Fonte: Adaptado de Miessler, Fischer e Tarr (2014, p. 35).

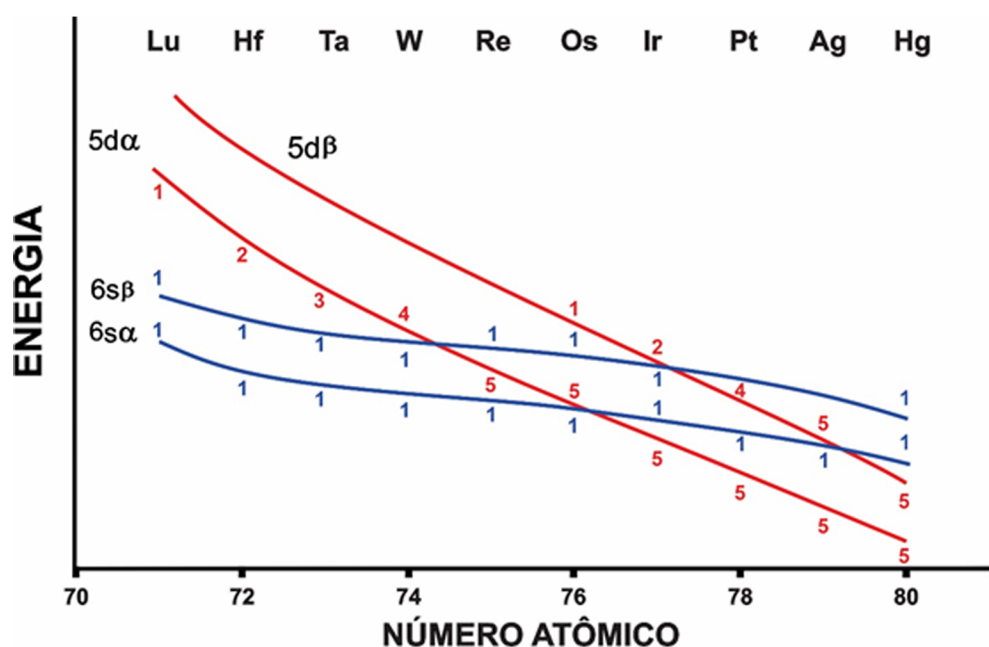
Após o término da atividade, sugere-se que o(a) professor(a) execute a correção das respostas de forma coletiva. Em seguida, pode-se recomendar que os participantes respondam às questões subsequentes, denominadas como questões-desafio.

Antes, é significativo que, nesse momento, o(a) professor(a) favoreça um diálogo com os participantes, no sentido de identificarem vantagens e desvantagens desse recurso. Essa discussão pode ser útil também para se reconhecer um aspecto fundamental da natureza dos modelos científicos, isto é, suas limitações enquanto representação parcial da realidade do objeto de estudo.

Questão desafio

- 1) A platina (Pt) é um metal que possui elevado ponto de fusão e grande resistência a corrosão, sendo considerada um metal nobre. Sabendo que seu número atômico é igual a 78, descreva a configuração eletrônica no estado fundamental utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na figura 10.

Figura 10: Energia dos Orbitais 5d e 6s para Átomos isolados da Terceira Série de Transição em seu Estado Fundamental



Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p. 894).

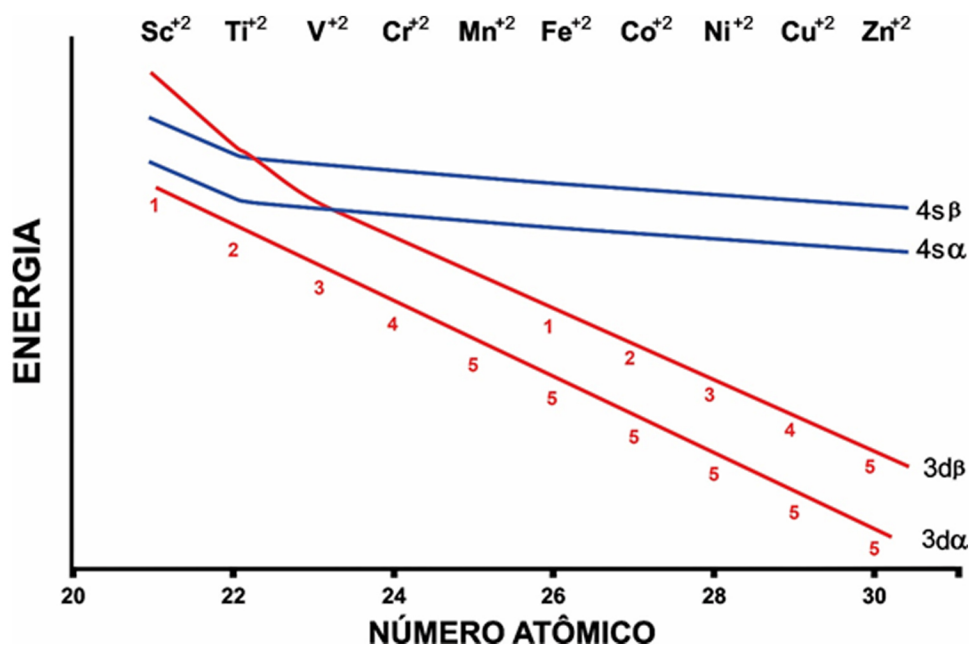
Questão desafio

2) O ferro (Fe) e o zinco (Zn) são espécies químicas que possuem grande importância biológica. Utilizando o diagrama de Rich-Suter exposto na Figura 11, elabore as configurações eletrônicas dos seguintes íons:

A) Fe^{+2}

B) Zn^{+2}

Figura 11: Energia dos Orbitais 3d e 4s para Átomos isolados da Primeira Série de Transição depois que Perdem Dois Elétrons para formar íons +2



Fonte: Adaptado de Orofino, Machado e Faria (2013, p. 895).

SAIBA MAIS

Para um estudo mais profundo e detalhado acerca dos diagramas de Rich-Suter utilizados nesse momento da sequência didática, sugere-se algumas referências para leituras adicionais, assim como um vídeo ilustrativo sobre como operar os diagramas desenvolvidos.

RICH, Ronald. L.; SUTER, Robert. W.; Journal of Chemical Education, v.65, n.8, p.702-704, 1988.

OROFINO, Hugo; MACHADO, Sergio P.; FARIA, Roberto B. The use of rich and suter diagrams to explain the electron configurations of transition elements. Química Nova, vol. 36, No. 6, 894-896, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

FLORENCIO, Antonio. O Diagrama de Pauling sempre é válido? Conheça o Diagrama de Rich-Suter. Acessado em: <http://universidadedaquimica.com.br/artigos/diagrama-pauling-rich-suter/>

Vídeo FilosoQuímica #1 Distribuição eletrônica pelo Diagrama de Pauling - funciona sempre? Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=i_TJKIIKDzM

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que este material contribua na ampliação de conhecimentos referente às configurações eletrônicas, bem como proporcione aos participantes uma vivência mais profunda desse conteúdo, utilizando um recurso diferente dos encontrados na maioria dos livros didáticos.

APOIO



**Agradecemos o apoio da Coordenação de
Aperfeiçoamento
de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)
Código de Financiamento 001**

APÊNDICE

Carga Nuclear Afetiva

Muitas propriedades físicas e químicas dos átomos dependem da configuração eletrônica e da força com que os elétrons mais externos são atraídos pelo núcleo. Em um átomo multieletrônico, cada elétron é simultaneamente atraído pelo núcleo e repelido pelos outros elétrons. Essa repulsão diminui significativamente a atração que o núcleo exerce sobre o elétron, de maneira que cada elétron é menos atraído pelo núcleo do que se os outros elétrons não existissem. Resumidamente, cada elétron, em um átomo polieletrônico, é blindado do núcleo pelo restante dos elétrons, sofrendo uma atração líquida menor do que se outros elétrons não estivessem presentes. Essa carga nuclear líquida é definida como carga nuclear efetiva (BROWN et al.,2016).

Determinação da carga nuclear efetiva

Slater elaborou um conjunto de regras para determinar o efeito da blindagem (S) com o intuito de calcular as cargas nucleares efetivas sobre elétrons em átomos e em íons monoatômicos. As regras, a seguir, são conhecidas como regras de Slater.

Carga nuclear efetiva $Z^* = Z - S$, onde Z = carga nuclear
 S = constante de blindagem

Regras para determinar a blindagem sobre um elétron nos orbitais ns, np, nd ou nf.

1) Escreva a configuração eletrônica do átomo ou íon.

2) Uma vez escrita, reescreva-as em ordem crescente de números quânticos n e l , agrupados da seguinte maneira:

$(1s)(2s\ 2p)(3s\ 3p)(3d)(4s\ 4p)(4d)(4f)(5s\ 5p)(5d)(5f)(6s\ 6p)(6d)\dots$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{n-1} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_n$

3) Definir o grupo do elétron a ser analisado e determinar a blindagem, S , considerando as seguintes situações

Determinar S para um elétron no grupo (ns,np)

- a) Os elétrons à direita do elétron analisado não contribuem para o cálculo da blindagem.
- b) Cada elétron do grupo n onde está o elétron analisado contribui com 0,35.
- c) Cada elétron do grupo $n-1$ contribui com 0,85.
- d) Os elétrons à esquerda do grupo $n-1$ contribuem com 1,00.

Determinar S para um elétron no grupo (nd) ou (nf)

- a) Os elétrons à direita do elétron analisado não contribuem para o cálculo da blindagem.
- b) Cada elétron do grupo onde se encontra o elétron analisado contribui com 0,35.
- c) Todos os elétrons à esquerda do grupo do elétron analisado contribuem com 1,00.

Baseando-se nas exigências já estabelecidas em cada situação, pode-se expressar as blindagens pelas equações:

Blindagem sobre elétrons ns ou np

S= (elétrons que blindam o elétron no grupo $n \times 0,35$) + (elétrons no grupo $(n-1) \times 0,85$) + (elétrons à esquerda do grupo $(n-1) \times 1,00$).

Blindagem sobre elétrons nd ou nf.

S= (elétrons que blindam o elétron no grupo nd ou nf $\times 0,35$) + (elétrons nos grupos à esquerda do grupo $n \times 1,00$).

PRATICANDO

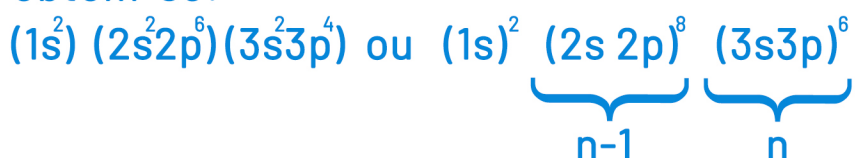
EXEMPLO 01

Calcular a carga nuclear efetiva que atua sobre um elétron 3p do átomo de enxofre.

Visto que o átomo de enxofre possui número atômico ($Z=16$), agora é só aplicar as regras que foram estudadas anteriormente.

1º) a configuração do enxofre é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

2º) fazendo o agrupamento de acordo com as regras de Slater, obtêm-se:



3º) o grupo n, em que se encontra o elétron analisado, é o (3s3p), e possui seis elétrons. Portanto, cinco elétrons blindam o sexto elétron;

4º) devido ao elétron analisado se encontrar num orbital np, aplica-se a expressão:

S = (elétrons que blindam o elétron no grupo n x 0,35) + (elétrons no grupo (n-1) x 0,85) + (elétrons à esquerda do grupo (n-1) x 1,00).

$$S = (5 \times 0,35) + (8 \times 0,85) + (2 \times 1)$$

$$S = 1,75 + 6,8 + 2 = \mathbf{10,55}$$

Para calcular a carga nuclear efetiva, basta substituir os valores na equação:

$$Z^* = Z - S$$

$$Z^* = 16 - 10,55 = \mathbf{5,45}$$

EXEMPLO 02

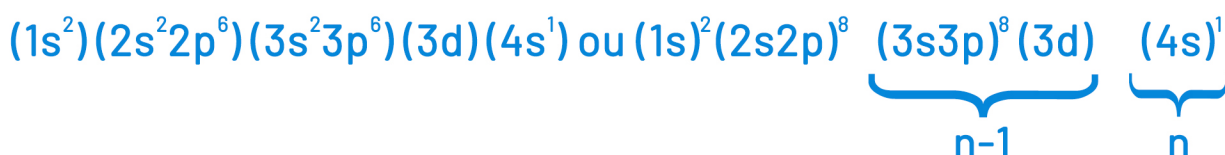
Calcular a carga nuclear efetiva sobre o elétron 4s e 3d em átomos de potássio.

SOLUCIONANDO O EXEMPLO 2 PARA O ELÉTRONS 4s

Como o átomo de potássio possui número atômico ($Z=19$), é só aplicar as regras que foram estudadas anteriormente.

1º) a configuração do potássio é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$

2º) fazendo o agrupamento de acordo com as regras de Slater, obtêm-se:



3º) o grupo n, em que se encontra o elétron analisado, é (4s), e possui um elétron. Portanto, nenhum elétron blindo o elétron analisado;

4º) como o elétron analisado se encontra num orbital ns, aplica-se a expressão:

$S = (\text{elétrons que blindam o elétron no grupo } n \times 0,35) + (\text{elétrons no grupo } (n-1) \times 0,85) + (\text{elétrons à esquerda do grupo } (n-1) \times 1,00).$

$$S = (0 \times 0,35) + (8 \times 0,85) + (10 \times 1)$$

$$S = 0 + 6,8 + 10 = 16,8$$

Para calcular a carga nuclear efetiva, basta substituir os valores na equação:

$$Z^* = Z - S$$

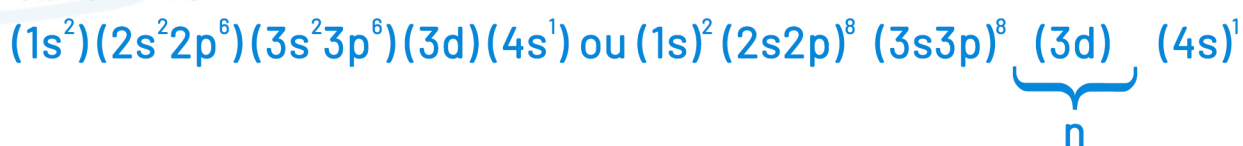
$$Z^* = 19 - 16,8 = 2,2$$

SOLUCIONANDO O EXEMPLO 2 PARA O ELÉTRON 3d

Visto que o átomo de potássio possui número atômico ($Z=19$), é só aplicar as regras que foram estudadas anteriormente.

1º) a configuração do potássio é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$

2º) fazendo o agrupamento de acordo com as regras de Slater, obtêm-se:



3º) como o grupo n analisado é $(3d)$, e ele não possui elétrons, praticamente não vai existir blindagem n .

4º) como o orbital analisado é o $3d$, os elétrons no orbital $4s$, que se encontram à direita do orbital analisado, não contribuem para o cálculo da blindagem. Assim, a expressão para calcular a blindagem é a seguinte:

$S = (\text{elétrons que blindam o elétron no grupo } nd \text{ ou } nf \times 0,35) + (\text{elétrons nos grupos à esquerda do grupo } n \times 1,00).$

$$S = (0 \times 0,35) + (18 \times 1)$$

$$S = 0 + 18 = 18,0$$

Para calcular a carga nuclear efetiva, basta substituir os valores na equação:

$$Z^* = Z - S$$

$$Z^* = 19 - 18 = 1,0$$

Quais conclusões pode-se extrair do exemplo 2?

Quando se comparam as cargas nucleares efetivas calculadas no exemplo 2, constata-se que o orbital $3d$ é atraído pelo núcleo através de uma carga nuclear efetiva menor que o orbital $4s$. Fundamentando-se nessa análise, pode-se concluir que, no potássio, o último elétron é mais atraído pelo núcleo e fica menos energético no orbital $4s$ do que em um orbital $3d$.

EXEMPLO 03

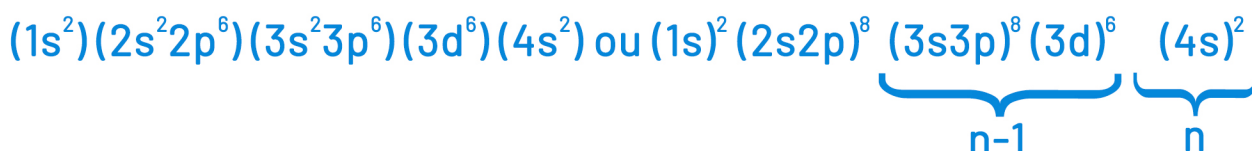
Calcular a carga nuclear efetiva para um elétron 4s de ferro e sobre um elétron que ocupa um orbital 3d.

SOLUCIONANDO O EXEMPLO 3 PARA O ELÉTRON 4s

Visto que o átomo de ferro possui número atômico ($Z=26$), é só aplicar as regras que foram estudadas anteriormente.

1º) a configuração do ferro é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$

2º) fazendo o agrupamento de acordo com as regras de Slater, obtêm-se:



3º) o grupo n, em que se encontra o elétron analisado, é (4s), e possui dois elétrons. Portanto, um elétron blindará o elétron em estudo;

4º) como o elétron analisado se encontra num orbital ns, aplica-se a expressão:

$S = (\text{elétrons que blindam o elétron no grupo } n \times 0,35) + (\text{elétrons no grupo } (n-1) \times 0,85) + (\text{elétrons à esquerda do grupo } (n-1) \times 1,00).$

$$S = (1 \times 0,35) + (14 \times 0,85) + (10 \times 1)$$

$$S = 0,35 + 11,90 + 10 = \mathbf{22,25}$$

Para calcular a carga nuclear efetiva, basta substituir os valores na equação:

$$Z^* = Z - S$$

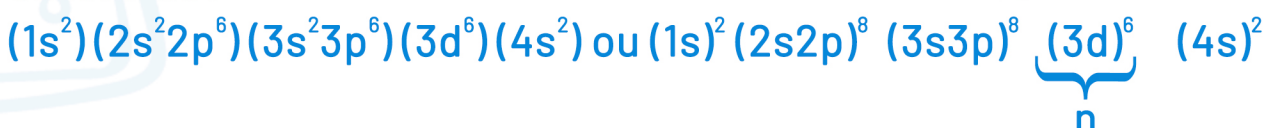
$$Z^* = 26 - 22,25 = \mathbf{3,75}$$

SOLUCIONANDO O EXEMPLO 3 PARA O ELÉTRON 3d

Visto que o átomo de ferro possui número atômico ($Z=26$), é só aplicar as regras que foram estudadas anteriormente.

1º) a configuração do ferro é $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$

2º) fazendo o agrupamento de acordo com as regras de Slater, obtêm-se:



3º) o grupo n , em que se encontra o elétron analisado, é $(3d)$, e possui seis elétrons. Portanto, cinco blindam o elétron analisado;

4º) devido ao elétron analisado ocupar um orbital $3d$, os elétrons no orbital $4s$, que se encontram à direita do elétron analisado, não contribuem para o cálculo da blindagem. Assim, a expressão para calcular a blindagem é a seguinte:

$S = (\text{elétrons que blindam o elétron no grupo } nd \times 0,35) + (\text{elétrons nos grupos à esquerda do grupo } n \times 1,00).$

$$S = (5 \times 0,35) + (18 \times 1)$$

$$S = 1,75 + 18 = \mathbf{19,75}$$

Para calcular a carga nuclear efetiva, basta substituir os valores na equação:

$$Z^* = Z - S$$

$$Z^* = 26 - 19,75 = \mathbf{6,25}$$

Quais conclusões pode-se extrair do exemplo 3?

Quando se comparam as cargas nucleares efetivas calculadas no exemplo 3, constata-se que um elétron no orbital $3d$ analisado é atraído pelo núcleo por uma carga nuclear efetiva maior, ($Z^* = 6,25$) do que os que estão no $4s$ ($Z^* = 3,9$), fato que se repete para todos os elétrons do subnível $3d$. Consequentemente, os elétrons do subnível $3d$ são mais fortemente ligados ao núcleo do que um elétron $4s$. Fundamentando-se nessa análise, pode-se concluir que elétrons nos orbitais $3d$ do ferro são menos blindados, portanto, possuem menor energia do que os elétrons $4s$.

IMPORTANTE!

É importante observar que os cálculos relatados acima são baseados em valores que expressam médias de efeitos de blindagens, o que resulta na obtenção de cargas nucleares efetivas próximas, porém diferentes das cargas nucleares efetivas reais. Portanto, as energias eletrônicas calculadas com base nas cargas nucleares definidas pelas regras de Slater (1930) são úteis para muitas aplicações, mas não são exatas.

Existem métodos de cálculos que apresentam valores mais próximos dos reais, entretanto, estes, em virtude de suas complexidades, fogem aos objetivos deste Produto Educacional.