

4ª edição revisada

ELETRICIDADE & ELETRÔNICA

Básica

Almir Wirth



ALTA BOOKS
EDITORA
Rio de Janeiro, 2013

Sumário

CAPÍTULO I: ELETRICIDADE E MAGNETISMO	1
Estrutura Atômica da Matéria, Metais e Ligações Covalentes	1
Modelo de Rutherford – Bohr	1
Subníveis de energia	2
Modelo quântico	3
Camada de condução e camada de valência.....	7
Corpos Bons e Maus Condutores; Semicondutores.....	9
Carga Elétrica e Campo Elétrico	10
Linhas de Força de um Campo Elétrico	12
Energia Potencial Elétrica e Diferença de Potencial (ou Tensão)	13
Resistência e Corrente Elétricas e Lei de Ohm	15
Resistividade e Condutância.....	15
Valor e Tolerância dos Resistores.....	16
Resistores SMD (“Surface Mounting Technology” - Montagem em Superfície)	18
O “Choque Elétrico”	18
Pilhas e Baterias	18
Capacidade e Durabilidade das Pilhas e Baterias	20
Tipos de Pilhas	20
Baterias (Acumuladores) de Chumbo	20
Baterias de Níquel-Cádmio.....	21
Circuitos com Ligação em Série, em Paralelo e Mista	22
Circuito com Ligação em Série	22
Circuito com Ligação em Paralelo	23
Circuitos com Ligação Mista	23
Leis de Kirchhoff	24
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	24
Circuitos “Delta” e “Estrela”.....	26
Capacitores.....	26
Geradores e Receptores de Energia Elétrica, Força Eletromotriz (f.e.m) e Força Contra-Eletromotriz.....	30
Potência e Energia Elétrica	32
Velocidade Angular, Período, Frequência e Ondas Senoidais.....	33
Magnetismo	34
Campo magnético	34

Fluxo Magnético	36
Lei de Biot-Savart	37
Campo magnético de uma Espira Circular	38
Campo Magnético de um Condutor Reto	39
Lei de Ampère.....	41
Campo Magnético de um Solenoide.....	41
Força Magnética.....	42
Substâncias Magnéticas.....	46
Histerese Magnética.....	47
Eletroímã.....	47
Influência da temperatura sobre a Imantação	48
Indução Eletromagnética.....	48
Força Magnetomotriz (f.m.m.).....	54
Transformador.....	55
Corrente Alternada	56
Valor Médio e Valor Eficaz	58
Alternador e Dínamo	58
Impedância.....	59
Capacitor com Tensão Alternada	63
Circuito com R, L, e C em Série	64
Motores Elétricos.....	65
Motor de Corrente Contínua (CC).....	66
Motor de Corrente Alternada (CA) Síncrono.....	66
Motor CA de Indução.....	67
Motor de Passo.....	68
Instrumentos de Medição	68
Galvanômetro.....	68
Amperímetro	69
Voltímetro.....	71
Ponte de Wheatstone	72
Ohmímetro.....	72
Multímetro (Multiteste).....	74
Osciloscópio	75
Ondas Eletromagnéticas	76
Principais Unidades de Medida	78
Relações entre as Principais Unidades de Medida	79
Exercícios do Capítulo I.....	80

CAPÍTULO II: CIRCUITOS COM CORRENTE ALTERNADA; FILTROS 87

Análise de Circuitos com Corrente Alternada	87
Circuitos Puramente Resistivos.....	88
Circuitos com Capacitor	89
Circuitos Puramente Capacitivos com Corrente Alternada.....	89
Circuito R, C Série.....	90
Circuito R, C Paralelo	90
Circuito com Indutor	91
Circuito R, L Série.....	92
Circuito R, L Paralelo	92
Circuito R, L, C Série; Ressonância.....	93

Circuito R, L, C Paralelo; Ressonância	94
Filtros	95
Transmissão através de um Filtro	96
Filtro Passa-Baixas	97
Filtro Passa-Altas	98
Filtro Passa-Faixa	98
Filtro Rejeita-Faixa.....	100
Pulsos Gaussianos.....	100
Transmissão de um pulso Gaussiano através de um filtro Passa-baixas Gaussiano	102

CAPÍTULO III: DIODOS SEMICONDUTORES..... 103

Materiais sólidos	103
Semicondutores.....	103
Ligações covalentes nos semicondutores.....	108
Quebra das Ligações Covalentes dos Semicondutores.....	108
Impurezas Doadoras	109
Junções PN.....	110
Polarização Inversa e Direta	111
Diodos Semicondutores	112
Capacitância e Circuito Equivalente do Diodo.....	112
Diodo Retificador.....	113
Teste de Diodos.....	114
Diversas Aplicações dos Diodos Semicondutores	115
Circuito Ceifador.....	115
Circuito Limitador	115
Circuito Retificador de Pico	115
Circuito Grampeador	116
Circuito Dobrador de Tensão	116
Principais Características Específicas do Diodo Semicondutor	116
Diodos Zener	117
Especificações dos Diodos Zener	118
Exemplos de Aplicações de Diodos Zener	119
Fonte de Corrente Contínua.....	120
Fotodiodos.....	121
Aplicações Típicas dos Fotodiodos.....	121
Diodo Túnel	122
Diodo LED.....	123
Principais Características dos LEDs.....	124
Diodo de Capacitância Variável (Varicap)	125
Diodo em Altas Frequências	126
Diodo PIN	128
Exercícios do Capítulo III.....	129

CAPÍTULO IV: TRANSISTORES BIPOLARES..... 133

Definição	133
Introdução	133
Funcionamento	134
Relação entre Tensões e Relação entre Correntes do Transistor	136

Configuração de Transistores e Amplificação de Sinais	137
Configuração de Emissor Comum	137
Configuração de Base Comum	138
Configuração de Coletor Comum	139
Parâmetros α e β	140
Correntes de Fuga dos Transistores	140
Tensões Reversas e de Ruptura	141
Curvas Características dos Transistores Bipolares	142
Curvas Características para a Montagem de Emissor Comum	143
Curvas Características para a Montagem de Base Comum	143
Curvas Características para a Montagem de Coletor Comum	144
Ponto de Trabalho (Q)	145
Curvas Características e Reta de Carga de um Transistor	146
Limitações dos Transistores	148
Limitações de Tensão	148
Limitações de Corrente	148
Limitações de Potência e Temperatura	148
Limitação em Frequência	150
Saturação e Corte dos Transistores Bipolares	151
Saturação	151
Corte	151
Região de Operação	152
Polarização	153
Polarização Simples	153
Polarização com Divisor de Tensão na Base e Resistor no Emissor	154
Função do Resistor de Emissor	154
Exercícios para Fixação do Aprendizado	155
Funcionamento em Corte e Saturação	156
Exemplos de Aplicações do Transistor como Chave	159
Ganhos de Tensão, Corrente e Potência	162
Teste de Transistores	163
Roteiro para Teste com Multímetro Analógico	163
Roteiro para Teste com Multímetro Digital	163
Classes de Amplificadores	164
Amplificador Classe A	164
Amplificador Classe B	164
Amplificador Classe AB	166
Amplificador Classe C	167
Transistor multiemissor	167
Fototransistor	168
Transdutor de Sinais de Fibras Óticas	169
Sensor Ótico Previamente Polarizado	169
Acoplador Óptico	170
Exercícios do Capítulo IV	170
CAPÍTULO V: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO	175
Introdução	175
JFET	176
Princípios de Funcionamento do JFET	176

Característica de Transferência do JFET	179
Limitações do JFET	179
Polarização do JFET	181
JFET Canal P	183
Aplicações de Transistores JFET	183
Amplificador AC	184
O Transistor MOS	185
Operação do NMOS Modo Crescimento	185
PMOS Modo Crescimento	187
Polarização do MOS	188
Aplicações de MOS Tipo Crescimento	191
Aplicações do MOS na área digital	192
Resistor MOS	192
Inversor MOS	193
a) Inversor MOS com carga resistiva pura	193
b) Inversor MOS com resistor de carga MOS	194
Mais Aplicações do MOS	196
O MOS como Chave	196
Circuito “NÃO E”	197
Circuito “NÃO OU”	197
MOS Complementar (CMOS)	198
Inversor CMOS	199
Circuito CMOS “NÃO E”	199
MOS Modo Depleção	201
Exercícios do Capítulo V	202
CAPÍTULO VI: MULTIVIBRADORES	207
Introdução	207
Multivibrador Astável	207
Funcionamento	208
Constante de Tempo do Circuito	212
Circuitos Simétricos	212
Razão de subida (t_s/t_c)	213
Elementos do projeto	214
Capacitores	214
Cálculo de RB	214
Alimentação e Transistores	215
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	215
Carga do circuito	216
Multivibrador Monoestável	217
Funcionamento	218
Multivibrador Biestável (flip-flop)	220
Flip-Flop RS	221
Flip-flop Tipo T	223
“Schmitt Trigger”	225
Funcionamento	226
Elementos do Projeto	227
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	228
Exercícios do Capítulo VI	229

CAPÍTULO VII: AMPLIFICADORES OPERACIONAIS	233
<hr/>	
Amplificador Diferencial.....	233
Amplificador Diferencial Real	234
Razão de Rejeição ao Modo Comum.....	234
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	235
Circuito Básico	236
Detalhamento dos Amplificadores Operacionais.....	237
Introdução	237
O AO Básico	240
O AO Ideal.....	241
Circuitos Operacionais Básicos	241
AO Inversor.....	241
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	243
AO Não Inversor	244
Seguidor de Tensão (“Buffer”).....	246
Exemplos Numéricos para Fixação do Aprendizado.....	247
Somador (Mixer).....	248
Subtrator (Amplificador Diferencial).....	249
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	250
Comparador	251
Integrador.....	252
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	253
Diferenciador	254
Características de AO Real	256
Resposta em Frequência	256
Exemplo Numérico para Fixação do Aprendizado	258
Tensão de Alimentação	259
Tensão de Saída	260
Offset de Saída	261
Offset de Entrada	262
Compensação de Offset.....	263
Rejeição ao Modo Comum	264
Características do AO 741	265
Exercícios do Capítulo VII.....	266
CAPÍTULO VIII: CIRCUITOS INTEGRADOS.....	271
<hr/>	
Introdução	271
Fabricação de Circuitos Integrados	273
Fabricação de pastilhas de silício	274
Processo Epitaxial - Difundido	275
Abertura de janelas; Obtenção de ilhas	276
Fabricação de componentes eletrônicos	277
Fabricação de transistores	277
Fabricação de diodos	278
Fabricação de resistores	279
Fabricação de Capacitores	279
Fabricação de Indutâncias	281
Isolamento elétrico	281

Fabricação simultânea de todos os componentes de um circuito (Circuitos Integrados)	281
Fabricação Múltipla de CIs	282
Encapsulamento de CIs	283
Cápsula tipo TO	285
Cápsula tipo plano (“flat-pack”)	285
Cápsula “dual-em-linha”	285
Circuitos Integrados MOS	287
Características dos Circuitos Integrados	287
Escalas de Integração	289
Circuitos Integrados Lineares e Digitais	290
Reguladores de tensão	290
Circuito Integrado 741 (Amplificador Operacional)	291
Exemplos de CIs comerciais	293
Novas tecnologias	294
Nanotecnologia	295
Grafeno (“Graphene”)	295
Exercícios do Capítulo VIII	297
Índice	299

PREFÁCIO

Dividimos esse livro em oito capítulos, cada vez que o leitor concluir um capítulo, ele terá adquirido base para o aprendizado dos próximos capítulos.

Nosso trabalho é autodidático, ou seja, a leitura desse livro proporciona a aprendizagem dos assuntos, sem a necessidade de participação do leitor em cursos com obrigação presencial.

O capítulo I é dedicado a Eletricidade e Magnetismo, no qual incluímos desde o assunto “Estrutura Atômica da Matéria” até “Ondas Eletromagnéticas”, e enfocamos, praticamente, todos os assuntos teóricos e práticos referentes a essa área.

No capítulo II detalhamos os circuitos com Correntes Alternadas e os Filtros.

O capítulo III dedica-se ao estudo dos Diodos Semicondutores, através do qual o leitor poderá adquirir os conhecimentos sobre quase todos os assuntos referentes a eles.

No capítulo IV descrevemos a Tecnologia dos Transistores Bipolares, e no capítulo V abordamos os Transistores de Efeito de Campo.

No capítulo VI descrevemos os vários tipos de Multivibradores.

O capítulo VII detalha os Amplificadores Operacionais, e por fim, o capítulo VIII aborda o assunto “Circuitos Integrados”.

Dessa forma, ao final da leitura deste livro, o leitor terá adquirido os conhecimentos básicos em Eletricidade, Magnetismo e Eletrônica, o que lhe garantirá a base suficiente para o estudo de qualquer tema relacionado a esses assuntos, como, por exemplo, Telecomunicações, Comunicações de Dados, Instrumentação, Hardware de Computadores, e Robótica, entre inúmeras outras áreas.

Este livro é dedicado aos estudantes e profissionais, tanto àqueles que não possuem base suficiente nessas disciplinas, quanto aos que precisam reciclar seus conhecimentos.

Procuramos desenvolver os assuntos mais relevantes para a vida profissional do leitor, enfocando os temas necessários, a fim de que após a leitura deste livro o leitor tenha adquirido os conhecimentos necessários para trabalhar em sua área.

Almir Wirth

SOBRE O AUTOR

Almir Wirth Lima Junior é engenheiro civil e de telecomunicações com pós-graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado em Teleinformática.

Em suas atividades atuais, estão inclusos os serviços de consultoria em sistemas de telecomunicações, bem como ministrar aulas sobre telecomunicações e redes de computadores em cursos universitários. O autor tem mais de vinte e cinco anos de experiência como professor universitário.

Além disso, é titular da AWLJ Engenharia, empresa que tem como um dos objetivos a execução de serviços e consultorias em Telecomunicações/Informática.

Trabalhou 10 anos no extinto Sistema Telebrás, nas áreas de comutação, rede e transmissão, onde repassou diversos cursos relacionados às 3 áreas acima referidas. Atualmente, dedica-se à pesquisas de alto nível a respeito de cristais fotônicos e nanotecnologia, cujos resultados parciais já foram publicados em diversos conceituados jornais científicos mundo afora.

O autor lançou vários outros livros, incluindo “Tecnologias de Redes & Comunicações de Dados”, “Telecomunicações Modernas: Curso Básico”, “Telecomunicações Multimídia: Internet, Lan’s e Wan’s”, “Internet e Redes de Computadores”, “Tudo sobre Fibras Óticas - Teoria & Prática”, “Redes Digitais de Serviço RDSI/ISDN”, “Eletricidade e Eletrônica Básica”, “Hardware PC: Guia de Referência”, “Microsoft Project 2007” e “Autocad 2011”.

CAPÍTULO I

ELETRICIDADE E MAGNETISMO

Estrutura Atômica da Matéria, Metais e Ligações Covalentes

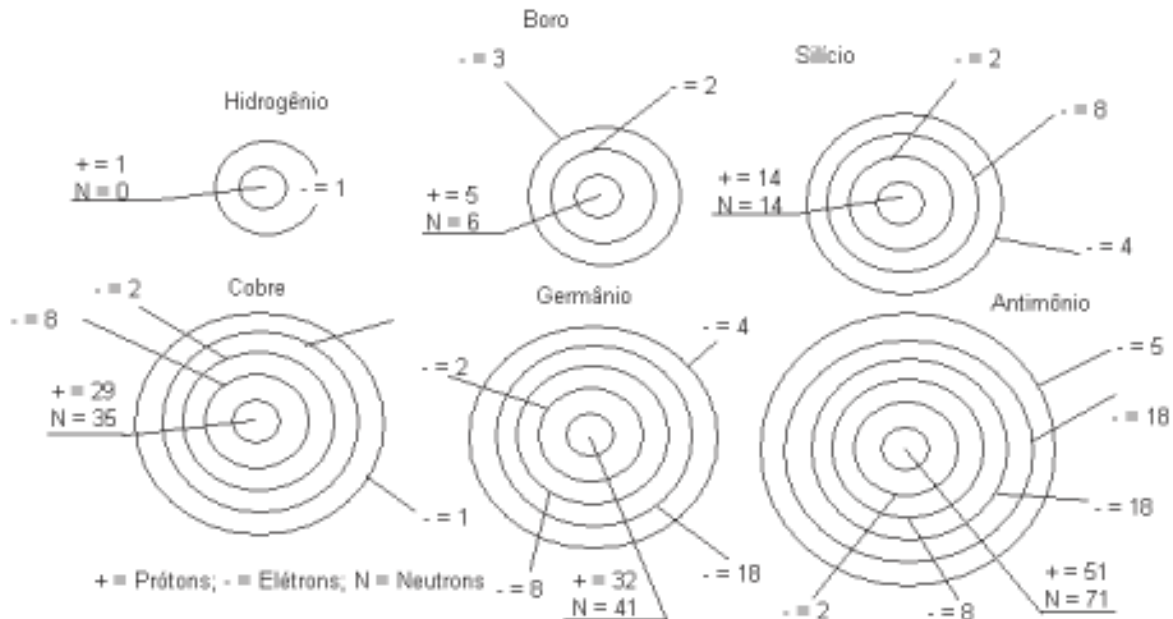
Modelo de Rutherford – Bohr

Uma teoria ainda hoje aceita sobre a estrutura atômica da matéria é a teoria de Rutherford, a qual afirma ser o átomo constituído de um núcleo formado por prótons e nêutrons, em torno do qual giram os elétrons. A física quântica, cada vez mais, descobre outros elementos internos do átomo, porém vamos ficar apenas com a teoria de Rutherford – Bohr, pois ela se adapta às nossas necessidades didáticas de embasamento e é suficiente para podermos adentrar na eletricidade básica.

Praticamente toda a massa do átomo concentra-se no núcleo, constituída de prótons, carregados positivamente, e nêutrons, que não possuem cargas. Portanto, devido aos prótons, o núcleo está carregado positivamente. Os elétrons possuem uma massa muito pequena, quase desprezível quando comparada à massa do núcleo, e movimentam-se ao redor do núcleo (órbitas) a distâncias de até dez mil vezes o diâmetro do núcleo, descrevendo órbitas fechadas e distribuídas em no máximo sete camadas. Os elétrons estão carregados negativamente.

Essas camadas de elétrons são denominadas de K, L, M, N, O, P e Q, sendo que a camada K é a camada mais próxima do núcleo, e a camada Q é a mais distante. As camadas intermediárias se afastam do núcleo conforme a ordem alfabética acima. Cada camada pode suportar um determinado número máximo de elétrons, conforme mostra a tabela a seguir:

CAMADAS	1 ^a (K)	2 ^a (L)	3 ^a (M)	4 ^a (N)	5 ^a (O)	6 ^a (P)	7 ^a (Q)
Nº Máximo de Elétrons	2	8	18	32	32	18	8



Modelos atômicos de alguns átomos.

A figura a seguir mostra alguns exemplos de modelos atômicos de alguns átomos:

Nesse modelo, é usado um único número quântico (n), para descrever uma determinada órbita.

Subníveis de energia

As camadas acima referidas (níveis de energia) são constituídas por subcamadas (subníveis de energia), designados pelas letras **s**, **p**, **d**, **f**. Cada nível de energia pode suportar uma quantidade máxima de elétrons de acordo com a tabela abaixo:

Subnível	s (0)	p (1)	d (2)	f (3)
Nº Máximo de Elétrons	2	6	10	14

Na próxima tabela, discriminamos a quantidade de Subníveis conhecidos em cada nível de energia:

Sub-nível	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
Nível	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	M	N	O	P	Q

Os subníveis são preenchidos, sucessivamente, na ordem crescente de energia, de acordo com o número máximo de elétrons possível em cada subnível (Regra de Aufbau). Na próxima tabela mostramos o posicionamento dos subníveis nas camadas, as quais são preenchidas em ordem crescente de energia:

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d

Modelo quântico

Embora o modelo de Rutherford – Bohr explicasse muitas das características atômicas, existiam ainda alguns fatores que ainda não estavam explicados, como, por exemplo:

- Qual a razão do confinamento dos elétrons em níveis específicos de energia?
- Já que os elétrons mudavam de direção em suas órbitas circulares (ou seja, aceleravam), eles deveriam emitir luz. Então, porque os elétrons não emitiam luz o tempo todo?
- Como descrever, de forma mais detalhada, o comportamento dos elétrons posicionados na última camada?
- Quais razões explicam o confinamento dos elétrons na quantidade acima exibida em cada camada?

Os números quânticos são usados para a determinação da quantidade de energia dos elétrons, bem como para a descrição de sua posição nos átomos. Existem quatro números quânticos:

número quântico principal (n);

número quântico de momento angular ou azimutal (l);

número quântico magnético (m);

número quântico de spin (m_s).

Os números quânticos n , l e m são usados para descrever os orbitais atômicos, bem como para a caracterização dos elétrons que participam desses referidos orbitais atômicos. O número quântico m_s é utilizado para a determinação do comportamento específico de cada elétron. Qualquer par de elétrons pode ter até três números quânticos iguais, todavia neste caso, necessariamente, o quarto número quântico deverá ser diferente, ou seja, este par de elétrons estará ocupando o mesmo orbital sendo que os elétrons apresentam spins opostos.

Número quântico principal (n) – Indica o nível de energia do elétron no átomo. Entre os átomos conhecidos em seus estados fundamentais, n varia de 1 a 7, conforme acima detalhado.

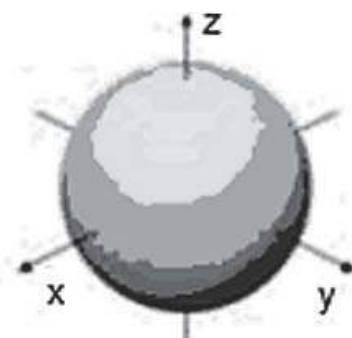
Vale salientar que quanto maior for o número n , mais distante está o elétron do núcleo. A energia do elétron cresce de acordo com o aumento do valor do número n , bem como o número máximo de elétrons em cada camada.

Número quântico de momento angular ou azimutal (l) – Indica a energia do elétron localizado em determinado subnível. Entre os átomos conhecidos em seus estados fun-

	Energia						
Camada	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a
	K	L	M	N	O	P	Q
Qt. máxima de elétrons	2	8	18	32	32	18	2

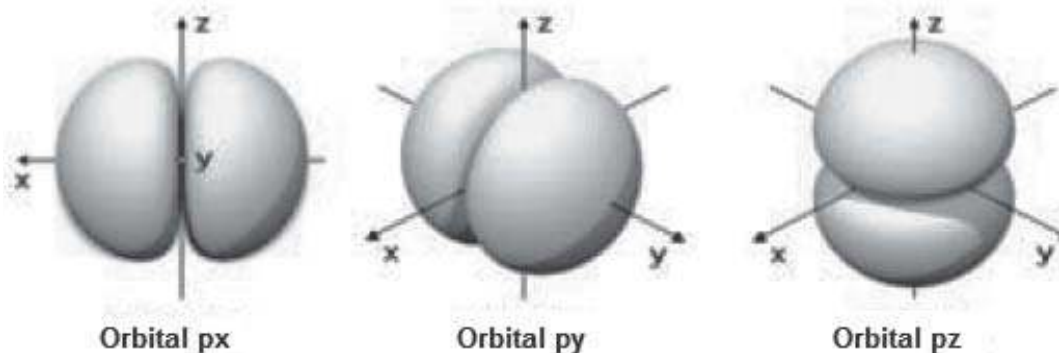
damentais, l varia de 0 a 3 (são representados pelas letras s, p, d, f, respectivamente). O número máximo de elétrons em cada subnível é dado por $2 \cdot (2l + 1)$, conforme determinado na tabela acima apresentada. Esse número quântico mostra a forma das orbitais. Portanto, o valor de l define o momento angular do elétron, sendo que o aumento do seu valor ocasiona o aumento correspondente do valor do momento angular.

Número quântico magnético (m) – Indica a energia do elétron no orbital, sendo que m varia de $-l$ a $+l$. O número quântico magnético especifica a orientação permitida para uma nuvem eletrônica no espaço, sendo que o número de orientações permitidas está diretamente relacionado à forma da nuvem (designada pelo valor de l). Dessa forma, este número quântico pode assumir valores inteiros de $-l$, passando por zero, até $+l$. Cada orbital comporta apenas 2 elétrons. Deste modo, há apenas 1 orbital no subnível s ($l = 0$), 3 no subnível p ($l = 1$), e assim por diante. No subnível s ($l = 0$) existe somente uma orientação ($m_l = 0$), conforme consta na próxima figura. Observe que os orbitais s possuem forma esférica, independentemente do nível ao qual pertencem, ou seja, não faz diferença se o orbital é 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s ou 7s, pois todos são esféricos e não direcionais.



Orbital do tipo $m = 0$.

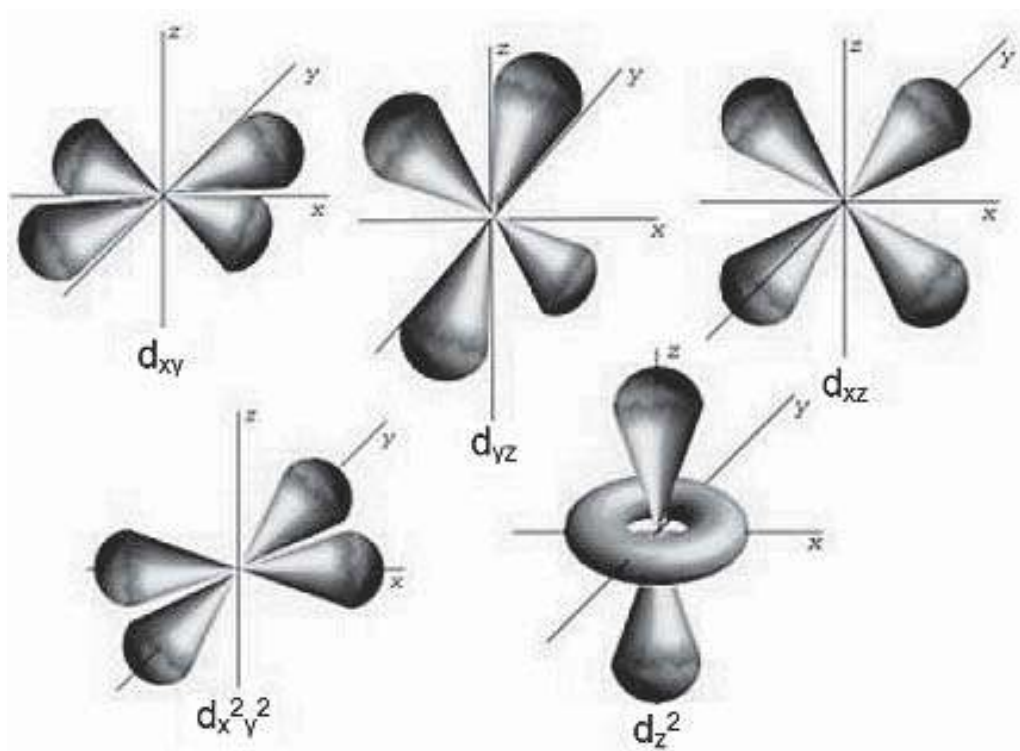
Na figura abaixo mostramos as orbitais referentes ao subnível p ($l = 1$), onde existem três orientações permitidas, que ocorrem de acordo com os três possíveis valores de m_l ($+1, 0, -1$). Os três orbitais p são denominados p_x , p_y e p_z . A orientação dos orbitais seguem as direções dos três eixos cartesianos (x, y e z), conforme aparece na figura.



Orbitais do tipo $m, +1, 0, -$.

Com relação ao subnível d ($l = 2$), podemos afirmar que existem cinco orientações permitidas, ou seja, cinco valores de m_l ($-2, -1, 0, +1, +2$). E são designados por d_{z^2} , cuja orientação coincide com o eixo z, $d_{x^2-y^2}$, onde a orientação coincide com os eixos x e y, simultaneamente; d_{xy} , o que significa que a orientação está entre os eixos x e y; d_{yz} , ou seja, a orientação entre os

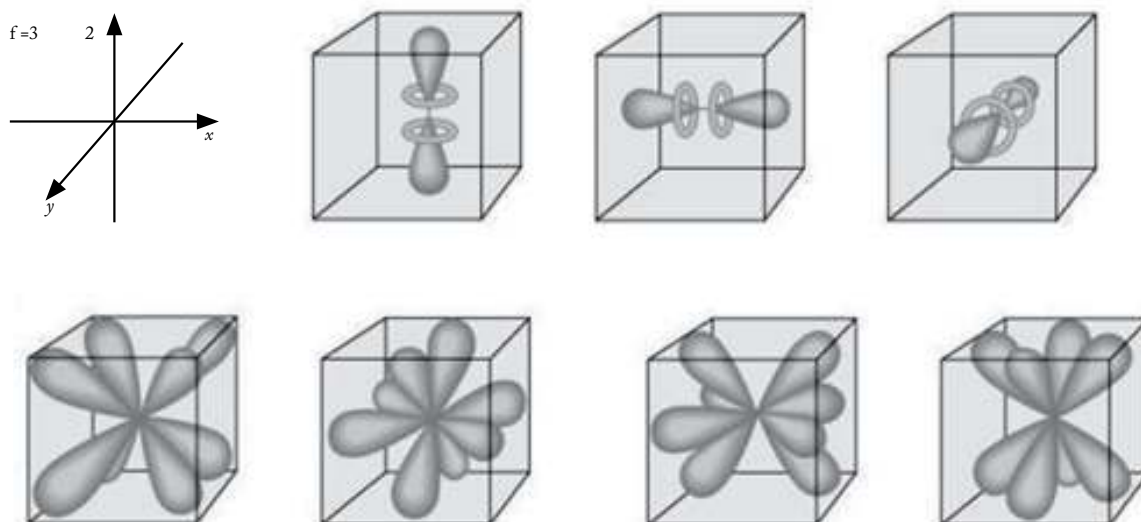
eixos y e z; e dxz, com a orientação entre os eixos x e z. Na figura a abaixo mostramos os detalhes de cada uma das orientações anteriormente descritas.



Orbitais do tipo $m_l, +2, +1, 0, -1, -2$.

O subnível f ($l=3$) é composto por 7 orbitais m_l ($-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$). Os orbitais do tipo f possuem formas variadas. O seu estudo torna-se importante apenas para os elementos do bloco f (transição interna da tabela periódica). Na próxima figura estão detalhadas as orbitais do subnível f.

O plano nodal é definido como um plano que divide o orbital ao meio, no qual a probabilidade do elétron de ser encontrado é nula. O núcleo do átomo localiza-se nesse plano.






Orbitais do tipo $m_l, +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3$.

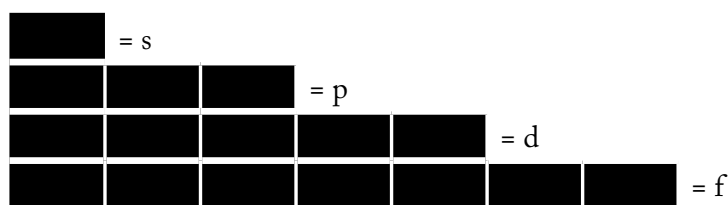
Observe que cada orbital f apresenta 3 planos nodais.

Número quântico de spin (m_s) – O Princípio da Exclusão de Pauli, afirma que podem existir apenas 2 elétrons em um orbital se estiverem em spins contrários. O número quântico m_s indica o movimento de rotação dos elétrons. Os “spins” $+1/2$ ou $-1/2$ representam o sentido de rotação, horário ou anti-horário do elétron ao redor do seu próprio eixo. Como existem apenas dois sentidos possíveis, este número quântico assume apenas os valores $-1/2$ e $+1/2$, indicando a probabilidade de 50% do elétron de estar girando em um sentido ou no outro.

Um orbital pode ser representado da seguinte forma:

- Orbital possuindo apenas um elétron incompleto; .
- Orbital possuindo apenas um elétron contrário ao anterior; .
- Orbital possuindo 2 elétrons, cheios e completos, de spins contrários; .

Simbologia dos subníveis e seus orbitais.



Exemplo de representação quântica de um átomo

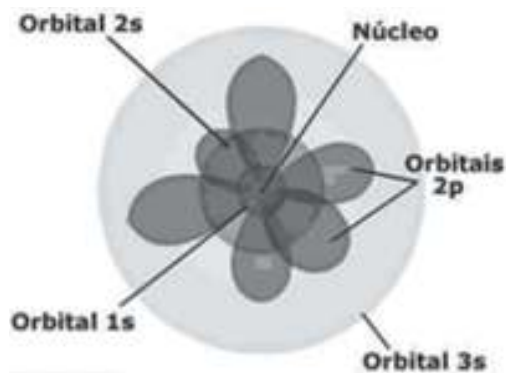
O átomo de sódio, por exemplo, possui 11 elétrons, os quais estão distribuídos nos seguintes níveis de energia: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, onde o índice representa o número de elétrons em cada subnível. Portanto:

Nível K: um orbital s - dois elétrons.

Nível L: um orbital s - dois elétrons e três orbitais p (dois elétrons em cada orbital p), totalizando 8 elétrons.

Nível M: um orbital s - um elétron.

Na figura a seguir represento o átomo de sódio no modelo quântico.



Modelo quântico de um átomo de sódio.

Atualmente, o modelo quântico apresenta a forma mais real da estrutura geral do átomo. Por exemplo, na figura apresentada a seguir temos a moderna tabela periódica dos elementos, na qual os elementos são organizados de acordo com o seu número atômico, em vez de se basear em sua massa.

Tabela Periódica dos Elementos																																													
H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	Uue	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																												
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																
<ul style="list-style-type: none"> Metais leves com orbitais incompletos Orbitais incompletos Não-metais com orbitais incompletos Orbitais incompletos Orbitais externos completos 																																													

Atual tabela periódica dos elementos.

Linhas - os elementos de cada linha têm o mesmo número de níveis de energia (camadas).

Colunas - os elementos têm o mesmo número de elétrons na camada ou nível de energia mais externo (de um a oito).

Camada de condução e camada de valência

A camada externa de elétrons (última camada) é denominada camada de “valência”. Ela é responsável pela junção dos átomos a fim de formar uma molécula, que, por sua vez, ao unir-se com outras moléculas, forma um corpo.

Um átomo só é estável, ou seja, não se combina ou reage com outros átomos, quando a sua camada de valência possui oito elétrons ou, exclusivamente no caso do gás hélio, dois elétrons. Esses elementos com oito elétrons na camada de valência são denominados de gases nobres. Observe, na figura anterior, que o neônio é um gás nobre, pois possui oito elétrons em sua última camada. Todos os outros átomos, em condições normais, não podem existir sozinhos, ou seja, precisam se combinar a fim de atingir a estabilidade acima referida. Quando os átomos se combinam com outros átomos iguais, formam o que chamamos de substância simples. E quando se combinam com átomos diferentes, forma-se o que denominamos de substância composta.

Quando um átomo está em equilíbrio, o número de elétrons é igual ao número de prótons. Observe que o hidrogênio é o elemento mais simples, pois possui apenas um próton em seu núcleo e um elétron em órbita. Por outro lado, o urânio é um dos mais complexos, pois possui 92 prótons em seu núcleo e 92 elétrons em órbita.

Quando um elétron sai de sua órbita, e também do átomo, esse átomo fica com carga total positiva, pois nesse caso haverá mais prótons do que elétrons. Quando isso acontece, esse átomo passa a ser denominado de “íon”.

O diagrama a seguir, conhecido como diagrama de Pauling, descreve como a distribuição eletrônica dos níveis e subníveis em ordem crescente de energia ocorre. Observe que, um subnível deve ser preenchido por completo, antes de ser iniciado o preenchimento do subnível seguinte.

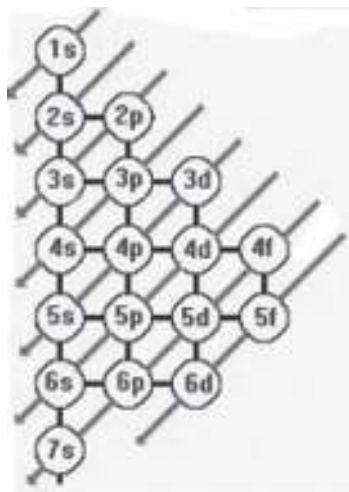
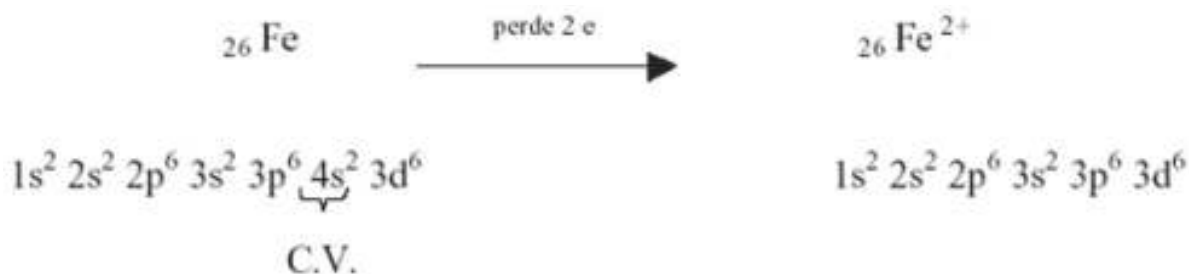


Diagrama de Pauling usado para a determinação da distribuição eletrônica.

Por exemplo, o ${}_{26}\text{Fe}$, possui a seguinte distribuição eletrônica: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$. Nos átomos neutros, o número de elétrons é igual ao de prótons. Entretanto, se um átomo neutro que recebe ou perde elétrons se transforma, denomina-se de **íon**. Por exemplo, para o íon ${}_{26}\text{Fe}^{2+}$, temos a seguinte distribuição eletrônica:



Observe que a perda (ou ganho) de elétrons não ocorre na camada eletrônica mais energética e sim na camada mais externa, a qual é denominada de camada de valência (C.V.).

Existem elementos cujos elétrons da última camada são fracamente atraídos. Portanto, esses elétrons podem ser retirados do seu átomo com facilidade. Os elementos químicos que possuem essa característica são denominados de metais. Por exemplo, o átomo de cobre, o qual é considerado um metal, possui apenas um elétron na sua última camada (camada de valência), que pode sair facilmente de seu átomo. Por outro lado, os elétrons que saem de seus átomos são denominados de elétrons livres, sendo responsáveis pela corrente elétrica, conforme veremos mais à frente. Nos metais (materiais condutores), os elétrons da última camada possuem ligações muito fracas, podendo movimentar-se de forma livre. O que mantém os elétrons presos aos seus respectivos átomos, é a força de atração exercida pelo núcleo, associado ao movimento circular do elétron em torno do núcleo. Note que em qualquer movimento circular existe uma força centrífuga, a qual empurra o corpo para fora do centro do movimento. No caso dos elétrons a força centrífuga empurra os elétrons para fora do núcleo. Entretanto, os prótons os puxam para dentro do átomo, mantendo-os em órbita. O equilíbrio destas duas forças é que mantém os elétrons ligados aos átomos. Podemos, então, concluir

que a força de atração atuante nos elétrons das últimas camadas é menor que a força que atua nos elétrons das primeiras camadas. Quando um elétron da camada de valência (última camada) recebe energia externa como, por exemplo, luz ou calor, e essa energia é maior que a força de atração exercida pelo núcleo, o elétron pode seguir para uma região acima da camada de valência, a qual se denomina de banda de condução. Estando na banda de condução, o elétron está livre para se deslocar pelo corpo do material, sendo o mesmo denominado elétron livre. Quando um elétron sai para a banda de condução, é criado um vazio energético no átomo, o qual é denominado de lacuna.

Corpos Bons e Maus Condutores e Semicondutores

Conforme acima detalhado, um material é um bom condutor quando os elétrons da camada de valência (elétrons de valência) estão fracamente ligados ao átomo e podem sair dele com facilidade. Nessas condições, até mesmo à temperatura ambiente os elétrons de valência desprendem-se de seus átomos e seguem para outros em uma movimentação desordenada. Existe uma grande quantidade desses elétrons livres no interior de um bom corpo condutor, formando o que se chama de “nuvem eletrônica”. Aplicando-se uma tensão nas extremidades de um fio de cobre, por exemplo, os elétrons livres se movimentarão de forma ordenada, de acordo com o campo elétrico produzido, e formarão o que se denomina de “corrente elétrica”. Voltaremos a esse assunto mais à frente.

O ouro, a prata, o alumínio, além do cobre, são metais e bons condutores.

Por outro lado, quando os elétrons de valência estão ligados ao átomo de maneira bem firme, torna-se difícil arrancá-los de suas camadas. Esses materiais são maus condutores e denominados de “materiais isolantes”. Alguns elementos simples (constituídos de apenas um tipo de átomo) apresentam características isolantes, porém materiais compostos, como, por exemplo, a borracha, o teflon, a baquelita, etc., nos quais os elétrons estão firmemente ligados aos átomos, são materiais com maiores características isolantes. Quanto maior for a característica isolante do meio, mais difícil se torna a existência de uma corrente elétrica nesse ambiente. A dificuldade de se obter uma maior intensidade de corrente elétrica em um meio é conhecida como resistividade, ou resistência elétrica do material. Os semicondutores apresentam uma resistividade entre 10^{-2} e 10^{-6} ohm.cm .

Entre o grupo dos bons condutores e o dos maus condutores está o grupo dos materiais semicondutores, cuja resistividade é maior do que a dos metais (condutores), porém menor do que a dos materiais isolantes. Os semicondutores apresentam uma resistividade entre 10^{-2} e 10^{-6} ohm.cm. Mais à frente vamos estudar o que é ohm.

Os semicondutores mais utilizados na eletrônica são o silício (em maior escala) e o germânio, os quais são usados na fabricação de diodos, transistores e outros componentes eletrônicos, que serão estudados no capítulo III.

A tabela a seguir mostra a resistividade de alguns materiais bons condutores, semicondutores e isolantes.

Material	Resistividade (ohm.cm)
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Germânio	47
Silício	$21,4 \cdot 10^4$
Vidro	$5 \cdot 10^4$
Mica	$9 \cdot 10^{16}$
Quartzo	$75 \cdot 10^{18}$

Carga Elétrica e Campo Elétrico

Vimos anteriormente que as cargas elementares são os prótons e os elétrons, os quais estão dentro de um átomo. Por convenção, adotou-se a carga do próton como positiva e a do elétron como negativa, o que significa dizer que essas cargas possuem polaridades opostas.

Ao aproximarmos duas cargas uma da outra, as de mesma polaridade se repelem e as de polaridades opostas se atraem.

A unidade adotada para se medir a quantidade de carga elétrica que um corpo possui denomina-se “coulomb” (C).

A menor carga negativa que existe (carga elementar) é a carga de um elétron, que é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Portanto, para se obter uma carga de 1 coulomb são necessários $1/(1,6 \cdot 10^{-19}) = 6 \cdot 10^{18}$ elétrons. Lembre-se que, 1 cm³ de cobre possui $8 \cdot 10^{22}$ elétrons livres, o que corresponde a uma carga total de elétrons livres de $1,33333 \cdot 10^4$ C.

Uma carga elétrica no espaço (Q), seja ela puntiforme (um ponto) ou distribuída, modifica as características do espaço que a envolve de tal modo que, ao colocarmos uma outra carga elétrica (q) nesse espaço circunvizinho à outra carga, surgirá uma força de origem elétrica na carga q.

Essa força que surge em q se dá por conta das características modificadas do espaço circunvizinho à carga Q, denominada de “campo elétrico”. Portanto, o campo elétrico é o espaço com características modificadas devido à presença de cargas elétricas e responsável pelo suporte às interações elétricas entre duas ou mais cargas elétricas.

É óbvio que a carga elétrica q também provoca um campo elétrico ao seu redor, o qual age sobre outras cargas situadas nesse campo.

A força elétrica que surge em uma carga elétrica devido à eletricidade existente na região onde se encontra essa carga é do tipo vetorial, ou seja, tem uma intensidade, uma direção e um sentido.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

\vec{F} = Vetor Força elétrica

q = Carga elétrica (número real)

\vec{E} = Vetor Campo elétrico