

TELECOM - I

RADIOCOMUNICAÇÕES

Newton C. Braga



CURSO DE ELETRÔNICA
TELECOM - I - Radiocomunicações

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtonbraga.com.br

contato@newtonbraga.com.br

**CURSO DE ELETRÔNICA -
TELECOM 1 - Radiocomunicações**

Autor: Newton C. Braga
São Paulo - Brasil - 2012

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica
- Componentes - Educação Tecnológica

Diretor responsável: Newton C. Braga
Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

MAIS INFORMAÇÕES

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
<http://www.newtoncbraga.com.br>

NOTA IMPORTANTE

Esta série de livros fornece conhecimentos básicos de eletrônica para cursos regulares, cursos a distância e para autodidatas, consistindo, portanto numa literatura cuja finalidade é apoio, iniciação ou complementação de conhecimentos. Sua aquisição não implica no direito a obtenção de certificados ou diplomas os quais devem ser emitidos pelas instituições que adotam o livro ou ainda ministram cursos de outras formas. Da mesma forma o autor ou a editora não se responsabilizam por eventuais problemas que possam ser causados pelo uso indevido das informações nele contidas como o não funcionamento de projetos, ferimentos ou danos causados a terceiros de forma acidental ou proposital, ou ainda prejuízos de ordem moral ou financeira. Os eventuais experimentos citados quando realizados por menores devem ter sempre a supervisão de um adulto. Todo cuidado foi tomado para que o material utilizado seja encontrado com facilidade na época da edição do livro, mas as mudanças tecnológicas são muito rápidas o que nos leva a não nos responsabilizarmos pela eventual dificuldade em se obter componentes para os experimentos.

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Estas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

ÍNDICE

1. Conceitos básicos	11	4.3 – AM - Modulação em Amplitude	94
1.1 - Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo Magnético	11	4.4. – SSB (Single Side Band) ou BLU (Banda Lateral Única)	101
1.2 - Ondas eletromagnéticas	13	4.5 – AMDSB - O Receptor	103
1.3 - Frequência, período e comprimento de onda – senóide	14	4.6 – Receptores de Telecomunicações – Dupla Conversão	111
1.4 - Fase	16	4.7 – Receptores Para CW e SSB	112
1.5 - O espectro eletromagnético	16		
1.6 - Amplitude e polarização	18		
1.7 - Propriedades das ondas – velocidade, reflexão, refração e difração	20	5. Transistor Unijunção e de Efeito de Campo	115
1.8 - Propagação – ondas terrestres, ionosféricas e ondas diretas	21	5.1 – Modulação em Frequência ou FM	115
1.9 - Atenuação, ruídos e interferências	22	5.2 – FM Faixa Estreita e Faixa Larga	119
1.10 – Ondas estacionárias	23	5.3 - Desvio de Frequência	121
1.11 – Alcance	24	5.4 – Circuitos Moduladores de FM	123
1.12 - Linhas de transmissão	26	5.5 - Demodulação de FM	127
1.13 - Antenas – tipos, polarização, ganho e diretividade	26	5.6 – FM Estéreo	129
		5.7 – Receptores de FM	133
2. Formas de Onda, Circuitos Ressonantes e Filtros	37		
2.1 – Formas de Onda Complexas	37	6. Modulação Digital	137
2.2 - Circuito ressonante	40	6.1. Introdução	137
2.3 - Seletividade – Fator Q	46	6.2 - Técnicas de Modulação Digital	139
2.4 - Filtros	47	6.3 - Representação Gráfica I/Q	140
2.5– O Logaritmo e o Decibel	57	6.4 – Análise Geral das Principais Técnicas de Modulação	144
		6.5 - ASK (Amplitude Shift Keying)	144
3. Sistemas de Radiocomunicação	61	6.6 - FSK	145
3.1 – Radiocomunicações	61	6.7 - BPSK e QPSK	146
3.2 – Meios Físicos	66	6.8 - MSK	148
3.3 – O Transmissor	67	6.9 -QAM	149
3.4 – Os receptores	71	6.10– Taxa de Erros e Correções	153
3.5 - Os Circuitos Receptores	73	6.11 - Variações dos Tipos de Modulações	154
3.6 – Sensibilidade e Seletividade	84		
3.7 – Transceptores	84	7. Multiplexação e Divisão do Espectro	157
3.8 – Comunicação Via Satélite	86	7.1 - Introdução	157
		7.2. Multiplexação	158
4. Modulação Analógica - 1	89	7.3 - Multiplexação por Divisão em Frequência ou FDM	159
4.1- Modulação	89	7.4 - Multiplexação por Divisão em Tempo ou TDM	161
4.2 – CW ou Onda Contínua	90	7.5 - Multiplexação por Código - CDM	165
		7.6 - Multiplexação Geográfica	166

7.7 - Espectro Espalhado	167
7.8 - Pacote de Rádio	174

8. Digitalização dos Sons e

Processamento, Saúde e ESD	177
-----------------------------------------	------------

8.1 - A Natureza do Som	177
8.2 - Espectro Audível	179
8.3 – Digitalização de sinais analógicos	185
8.4 - DSP	191
8.5 - Memórias	196
8.6 - ESD – Descargas eletrostáticas	197
8.7- Radiação Eletromagnética e Saúde	203
8.8 - Blindagens	204

RESPOSTAS	207
LINKS UTEIS	207

APRESENTAÇÃO

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso de eletrônica. Completado esse trabalho, fui trabalhar na Editora Saber em 1976 onde passei a publicar nas páginas da Revista Saber Eletrônica o primeiro Curso de Eletrônica em Instrução Programada, uma novidade que atraiu a atenção de milhares de leitores que tiveram sua formação inicial totalmente apoiada nos ensinamentos que então disponibilizamos. O sucesso desse curso fez com que em diversas ocasiões posteriores o curso fosse repetido e atualizado nas páginas da mesma revista e que também fossem criados diversos outros cursos, como o Curso de TV, Curso de Eletrônica Digital, Curso de Instrumentação, etc. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegou até sua quinta edição, e posteriormente em 2009 sendo transformado numa apostila. Diversos outros cursos também foram publicados na forma de livro encontrando-se hoje esgotados. No entanto, desde as primeiras edições de nossos cursos, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas em alguns, chegou o momento de se fazer algo novo, adaptado aos novos tempos da eletrônica, num formato mais atual e com conteúdo que seja mais útil a todos que desejarem aprender o básico das telecomunicações visando tanto a reciclagem de conhecimentos, a aquisição de conhecimentos por profissionais de outras áreas e principalmente para aqueles que desejam concorrer em concursos públicos e privados. Desta forma o conteúdo deste curso foi programado para conter o máximo de informações sobre telecomunicações, acessíveis a quem tenha um conhecimento básico de eletrônica, sendo sugerido nosso Curso Básico de Eletrônica e Curso de Eletrônica Analógica como material de apoio ou ainda pré-requisito para melhor entendimento. Assim, nesta primeira edição do Curso de Telecom, um verdadeiro curso de conceitos de telecomunicações, abordamos todo o conhecimento das versões anteriores e mais informações atuais sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações. Podemos dizer que este livro, como os demais, pode ser considerado a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, preparação para concursos ou ainda reciclagem de conhecimentos dos técnicos desejam estar atualizados nesta tecnologia.

Desde 1976, quando criamos a primeira versão de um Curso de Eletrônica básico que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos da eletrônica, essa ciência passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso Básico de Eletrônica, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica em nossos dias não é propriamente um fim, onde uma vez domada ela por si só, já permite que as pessoas encontrem uma atividade direta que lhes dê renda ou possam almejar um emprego. A eletrônica hoje é um meio de se alcançar qualificações em outras áreas como as telecomunicações, que justamente é o tema deste livro. Assim, nosso curso de Telecomunicações, visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para esta área pede, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, exige um certo conhecimento prévio dos que desejam aprender. O conhecimento prévio pode vir de nossos Curso Básico de Eletrônica, Curso de Eletrônica Analógica e Curso de Eletrônica Digital, de da formação anterior do leitor que cursou uma escola técnica ou de engenharia. A estrutura do curso foi elaborada tanto com base nos currículos de escolas técnicas de engenharia como dos programas para concursos de empresas públicas e privadas.

A seguir o conteúdo das lições deste curso.

Lição 1 – Conceitos Básicos

- Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo magnético
- Ondas eletromagnéticas
- Frequência, período e comprimento de onda - senóide
- O espectro eletromagnético
- Amplitude e polarização
- Propriedades das ondas – direção, velocidade reflexão, refração e difração
- Propagação – ondas terrestres e ionosféricas – ondas diretas
- Atenuação, ruídos e interferências
- Alcance
- Linhas de transmissão – ondas estacionárias
- Antenas – tipos, polarização, ganho e diretividade

Lição 2 - Formas de Onda, Circuitos Ressonantes e Filtros

- Formas de onda complexas
- Circuitos ressonantes

- Seletividade
- Fator Q
- Filtros
- O logaritmo e o dB

Lição 3 – Radiocomunicações

- Radiocomunicações
- Meios físicos e fibras ópticas
- O transmissor
- O receptor
- Transceptores
- Repetidoras
- Comunicações por satélites

Lição 4 – Modulação Analógica - 1

- Modulação
- CW ou Onda Contínua
- AM – modulação em amplitude
- SSB
- AMDSB – O receptor
- Receptores de Telecom – Dupla Conversão
- Receptores para SSB e CW

Lição 5 – Modulação Analógica -2

- Modulação
- FM faixa estreita e faixa larga
- Desvio de frequência
- Circuitos moduladores de FM
- Demodulação de FM
- FM estéreo
- Receptores de FM

Lição 6 - Modulação Digital

- Modulação digital
- Gráficos I/Q
- Padrões
- BPSK e QPSK
- FSK
- MSK
- QAM
- Modulação diferencial, amplitude constante offset QPSK

Lição 7 – Espectro e Multiplexação

- Introdução
- Multiplexação
- Multiplexação por divisão de frequência – FDM
- Multiplexação por divisão de tempo - TDM

- Multiplexação por código - CDM
- Multiplexação geográfica
- Espectro espalhado
- Pacote de rádio

Lição 8 – Som e digitalização de sinais , DSPs

- Conceitos básicos de som e acústica
- Propriedades e características dos sons – espectro audível
- Digitalização de sinais
- DSPs
- Memórias
- Descargas atmosféricas- ESD
- RF e saúde – cuidados
- Aterramento e blindagens

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como um importante degrau de uma escada que levará os interessados a um mundo de conhecimento técnico capaz de significar sua realização profissional e muito mais que isso, a satisfação pessoal de dominar as mais importantes tecnologias de nosso tempo.



» Conceitos básicos

1. O que você vai aprender

Neste capítulo você vai revisar conceitos básicos importantes para o entendimento das tecnologias das telecomunicações, tais como a natureza dos campos elétricos, ondas eletromagnéticas, espectro, propriedades das ondas, propagação, linhas de transmissão e antenas. Os itens deste capítulo são:

- 1 – O que você vai aprender
 - 1.1 – Revisão de conceitos- carga elétrica, campo elétrico e campo magnético
 - 1.2- Ondas eletromagnéticas
 - 1.3 – Frequência, período e comprimento de onda
 - 1.4 – Fase
 - 1.5 – O espectro eletromagnético
 - 1.6 – Amplitude e polarização
 - 1.7 – Propriedades das ondas
 - 1.8 – Propagação
 - 1.9 – Atenuação, ruídos e interferências
 - 1.10 – Ondas estacionárias
 - 1.11 – Alcance
 - 1.12 - Linhas de transmissão
 - 1.13 – Antenas

1.1 - Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo Magnético

Toda a matéria é feita de átomos. Os átomos consistem na menor partícula de um corpo material. Mas, os átomos são feitos de partículas ainda menores, segundo uma estrutura como a mostrada na figura 1. No núcleo do átomo existem partículas denominadas prótons e nêutrons e em torno deste núcleo giram partículas menores denominadas elétrons.

Hoje sabemos que essa representação não corresponde à realidade, pois as partes constituintes dos átomos não têm realmente o que podemos denominar forma, conforme veremos mais adiante, mas para efeito de estudo, esta representação tem sido adotada nas escolas por seu aspecto didático. Adotaremos esta representação por comodidade.

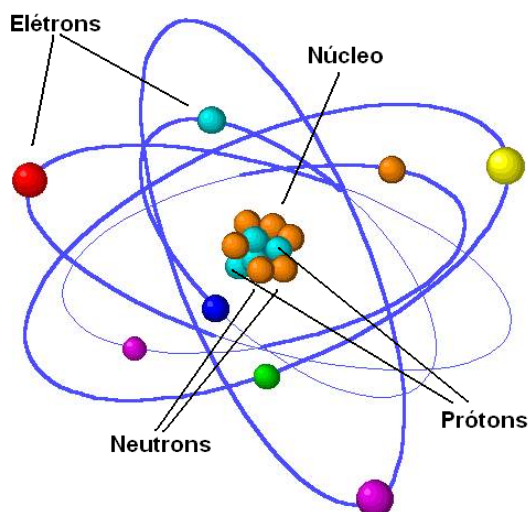


Figura 1 - Os átomos são formados de elétrons, prótons e nêutrons

Os prótons e os elétrons são dotados de propriedades especiais que são denominadas cargas elétricas. Por convenção atribuiu-se aos elétrons cargas elétricas negativas e aos prótons cargas positivas. Como num átomo em condições normais o número de elétrons é igual ao de prótons, os efeitos destas cargas se cancelam e o átomo se diz neutro.

As cargas elétricas podem influir umas nas outras, o que nos permite associar a cada carga uma região do espaço onde os seus efeitos se manifestam. Esta influência é representada pelos campos elétricos. Uma carga elétrica, positiva ou negativa possui campos elétricos que podem ser representados por linhas de força, conforme mostra a figura 2.

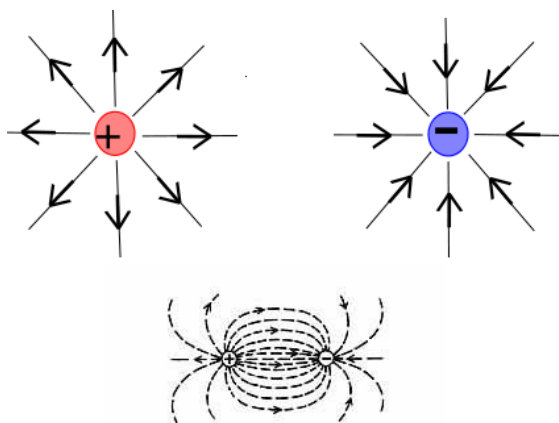


Figura 2 – Campos elétricos de cargas puntiformes e de um dipolo (duas cargas de sinais opostos)

Observe que as linhas que representam os campos elétricos saem das cargas positivas e chegam nas cargas negativas. Um tipo de campo muito importante é o chamado campo uniforme. Esse campo manifesta-se entre as placas de um capacitor plano carregado. As linhas que

Supercordas

A teoria das supercordas parte da idéia de que as menores partículas que formam o universo são entidades que possuem apenas uma dimensão, comprimento, e que vibram de diversas formas possíveis. Conforme o modo como elas vibram e as dimensões em que fazem isso, elas dão origem a uma infinidade de partículas elementares como os quarks, hádrons, elétrons, prótons e muitas outras formando o que se denomina de zoológico das partículas. Ainda há muito para se pesquisar nesse campo que tenta fazer a unificação da física quântica com a teoria da relatividade. Segundo o que físicos conseguem prever através de suas fórmulas, o universo deve ter pelo menos 11 dimensões para explicar os fenômenos observados com as partículas

saem da armadura positiva e chegam à armadura negativa são paralelas. Enquanto num campo de uma carga pontual a intensidade diminui com o quadrado da distância, num campo uniforme a intensidade é a mesma em todos os seus pontos.

Se uma carga elétrica se movimenta, o campo elétrico que ela produz se contrai e a energia armazenada neste campo passa para um novo tipo de campo que é o magnético. O campo magnético também é representado por linhas de força que são círculos fechados envolvendo a trajetória da carga. Este campo também armazena energia. Na figura 3 representamos este campo.

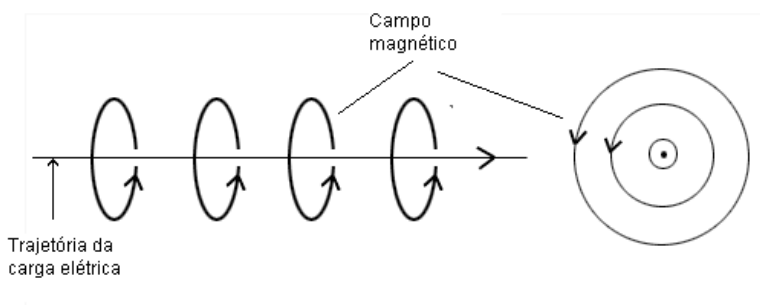


Figura 3 – Campo magnético criado por uma carga em movimento.

Observe que um campo elétrico ou magnético representa energia potencial armazenada. Quando uma carga se movimenta dentro de um campo, as forças a que ela fica sujeita estão associadas a uma transferência de energia.

Se bem que representemos os elétrons por pequenas esferas, já deixamos claro que isso é apenas para facilitar o entendimento do que explicamos. Na realidade, não podemos dizer exatamente o que estas partículas sejam.

1.2 - Ondas eletromagnéticas

Se uma carga oscilar entre duas posições, ocorre um fenômeno interessante. Nos instantes em que a carga está nas extremidades da trajetória temos campo elétrico e nos instantes em que ela se move de uma extremidade a outra temos campo magnético. Desta forma, campo elétrico e campo magnético se alternam, produzindo uma perturbação que se propaga através do espaço na forma de uma onda. Trata-se de uma onda eletromagnética cuja componente elétrica e componente magnética são perpendiculares entre si, conforme mostra a figura 4.

Espectro contínuo

O espectro das ondas eletromagnéticas (assim como dos sons) é contínuo no sentido de que não existe separação entre dois valores de frequências. Assim, a quantidade de frequências possíveis é infinita. Entre dois valores quaisquer de frequência podemos encontrar infinitos valores. Não existe, portanto um limite exato entre as faixas que denominamos ondas de rádio, infravermelho, luz visível, ultravioleta, etc.



James Clerk Maxwell
(1831 – 1879)

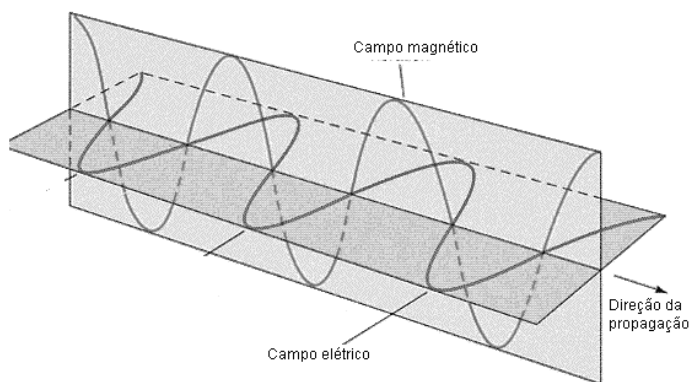


Figura 4 – Uma onda eletromagnética tem a componente elétrica e a magnética perpendiculares entre si.

As ondas assim produzidas podem ser propagar pelo espaço numa velocidade de 300 000 quilômetros por segundo (no vácuo), transportando energia. Na prática podemos produzir estas ondas também através de correntes, fazendo-a oscilar num condutor. Observe que a energia utilizada para fazer uma carga ou uma corrente oscilar se transfere para a onda produzida que então a transporta.

Foi Maxwell que previu a existência das ondas de rádio ao formular as equações que mostravam que não apenas a luz era formada por ondas eletromagnéticas, mas que existiam ondas de todas as frequências possíveis no espectro. Assim, todo espectro abaixo da luz visível e do infravermelho poderia conter ondas com as mesmas propriedades assim como as frequências acima do espectro visível, prevendo assim a existência também dos raios ultravioleta e raios X.

1.3 - Frequência, período e comprimento de onda – senóide

O número de vezes em que os ciclos de oscilações de uma carga ou de uma corrente ocorre em cada segundo nos dá a frequência da onda eletromagnética. Esta frequência é medida em Hertz (Hz), sendo comum o uso de seus múltiplos:

kHz = Quilohertz = 1 000 Hz

MHz = Megahertz = 1 000 000 Hz

GHz = Gigahertz = 1 000 000 000 Hz

THz = Terahertz = 1 000 000 000 000 Hz

O tempo que demora para que uma oscilação se complete é medido em segundos, sendo comum o uso de seus submúltiplos:

ms = milissegundo = 0,001 s

μs = microssegundo = 0,000 001 s

ns = nanossegundo = 0,000 000 001 s

ps = picossegundo = 0,000 000 000 001 s

As variações da amplitude de uma onda eletromagnética se faz de acordo com uma função senoidal, assim representamos estas ondas por figuras chamadas senóides.

Quando uma onda senoidal se propaga, podemos medir a distância que se encontra um ponto de determinada intensidade com o ponto equivalente da onda produzida em seguida. Esta distância, nos dá o comprimento de onda, conforme mostra a figura 5.

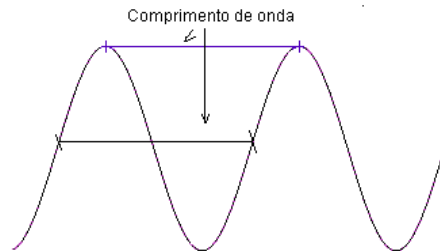


Figura 5 – O comprimento de onda é a distância entre dois pontos de mesma intensidade amplitude.

O comprimento de onda pode ser calculado facilmente a partir da frequência e da velocidade de propagação. Representando por λ (lâmbda) o comprimento de onda, por v a velocidade de propagação e por f a frequência temos:

$$v = \lambda \cdot f \text{ ou } \lambda = v/f$$

Veja que as unidades devem observadas. O comprimento de onda será obtido em metros quando a velocidade de propagação for dada em metros por segundo e a frequência em hertz. Assim, v será de 300 000 000 m/s para o caso das ondas eletromagnéticas.

Da mesma forma podemos definir o período de uma onda como uma grandeza numericamente equivalente ao inverso da frequência, ou:

$$T = 1/f$$

Por exemplo, para uma frequência de 1 MHz, temos um período de:

$$T = 1/ 10^6$$

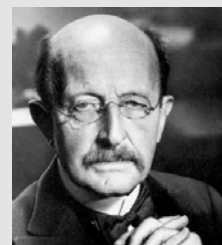
Ou

$$T = 10^{-6} \text{ segundos ou } 1 \text{ microssegundo } (1 \mu\text{s})$$

Para uma onda eletromagnética podemos associar uma quantidade mínima de energia transportada, denominada “quantum” ou pacote. Assim, a energia associada a um ciclo de um sinal corresponde ao mínimo que ele pode transportar e está diretamente associada à sua frequência.

Teoria Quântica

A Teoria da Relatividade de Einstein se mostrou apta a explicar a maioria dos fenômenos físicos de nosso universo, mas com os avanços nas pesquisas atômicas que passaram a descrever um novo universo de partículas cada vez menores, essa teoria não mais era suficiente para descrever muitos fenômenos. Assim, surgiu uma “nova física” para explicar esses fenômenos em escala quântica, ou seja, a Física Quântica. Foi Max Planck que em 1900 apresentou uma nova teoria, que explicava os fenômenos em escala atômica e subatômica. Essa teoria explicava porque um corpo excitado mudava a cor de sua emissão de ondas eletromagnéticas, pela adoção da idéia de que existiram partículas mínimas de energia, como no caso dos átomos para a matéria, o que passou a denominar quantum (plural quanta). Hoje tenta-se unificar a Teoria da Relatividade com a Teoria Quântica de modo a se obter uma física única que explique todos os fenômenos. A teoria das Supercordas parece ser um caminho para isso.



Max Planck (23 de abril de 1858 – 4 de outubro de 1947)