



# FÍSICA QUÂNTICA

Até o final do século XIX, a **física clássica** estava plenamente desenvolvida, desde a explicação dos movimentos dos planetas e astros em geral até a construção das máquinas a vapor, e a eletricidade era utilizada nas residências e em indústrias. Alguns acreditavam que todos os fenômenos da física estavam explicados, e não restava mais nada a descobrir. Porém, esta ideia era um engano.

Por volta de 1895, vários fenômenos da física ainda eram inexplicáveis pela física clássica. Em poucos anos, ocorreu uma revolução científica na física, dando início à **Física Moderna**. A Física Moderna explica uma série de eventos relativísticos, atômicos e quânticos. Esses eventos estão relacionados à própria estrutura do átomo, à natureza da luz e aos conceitos de espaço e de tempo.

A Física Moderna que estudaremos envolve física quântica e o efeito fotoelétrico.

## QUANTIZAÇÃO

Em meados de 1900, Max Planck, um físico alemão, considerou que para cada tipo de átomo, somente certas quantidades de energia luminosa (luz), chamadas **quanta**, podem ser emitidas. É impossível um átomo emitir meio **quantum** (o plural de quantum é quanta) ou qualquer outra fração de quantum: somente são emitidos números inteiros de quanta. Era o início da **mecânica quântica**, que substituiria a mecânica clássica na descrição dos átomos.

De acordo com Planck, a energia de cada quantidade é proporcional à frequência da radiação:

$$E = h \cdot f$$



Max Planck

A constante **h** é chamada de **constante de Planck**, cujo valor é  $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

Tais quantidades de energia são chamadas de **fótons**. O quantum da energia luminosa é o fóton e este não possui massa. O fóton é uma onda eletromagnética que se propaga na velocidade da luz e tem frequência determinada. A luz é emitida pelas estrelas, lâmpadas, um ferro em brasa. São os átomos que emitem luz, mas havia dificuldade em explicar a emissão de luz com base na física clássica. De acordo com a física clássica, um elétron que gira em torno do núcleo deveria emitir luz, perdendo energia de movimento para criar energia luminosa, até parar e se juntar ao núcleo. Mas não é isso que acontece: os átomos não perdem a capacidade de emitir luz.



Cada átomo, cada elemento químico, emite luz em determinados comprimentos de onda. Um átomo de sódio, por exemplo, emite luz em um comprimento de onda diferente do de um átomo de ferro.

Um fóton possui comportamentos diferentes em determinadas situações. Mencionamos que o fóton é uma onda eletromagnética, mas não é sempre assim! Um fóton se comporta como uma partícula quando está sendo emitido por um átomo ou absorvido, mas comporta-se como uma onda quando está se propagando da fonte para o local onde será detectado. Isso é o mais intrigante, pois sabemos que uma onda não transporta matéria, somente energia. Estamos insinuando que o fóton de luz, quando é ejetado do átomo, é formado por matéria, quando está sendo transportado não é mais matéria, só energia, e quando atinge um outro local (absorvido por outro átomo) volta ser matéria novamente. Este é o comportamento dual da luz, isto é, do fóton: ora é onda, ora é partícula.

A equação  $E = h \cdot f$  nos diz por que a radiação de micro-ondas não pode danificar as moléculas das células vivas, como podem fazer as radiações ultravioleta e raios X. A radiação eletromagnética interage com a matéria apenas em feixes discretos de fótons. Assim, a frequência relativamente baixa das micro-ondas determina uma baixa energia por fóton. Por outro lado, a radiação ultravioleta pode ceder cerca de um milhão de vezes mais energia para as moléculas, pois a sua frequência é cerca de um milhão de vezes maior do que a das micro-ondas. Os raios X, com frequências ainda maiores, podem ceder ainda mais energia.

A física quântica nos diz que o mundo físico é um lugar grosseiro e cheio de granulosidade, ao invés de suave e contínuo, como estamos acostumados a pensar. O mundo do “senso comum” descrito pela física clássica parece-nos suave e contínuo porque a “granulosidade” quântica tem uma escala muito pequena comparada aos tamanhos das coisas do mundo cotidiano.

## PRINCÍPIO DA INCERTEZA

As incertezas quânticas têm origem na natureza ondulatória da matéria. Muitos experimentos revelaram que a medição altera a quantidade que está sendo medida, ou seja, ocorre uma imprecisão, por mínima que seja.

Por exemplo, se você olhar para uma xícara de café quente, observará o vapor se elevando dela. Essa medição não envolve qualquer interação física entre seus olhos e o café. Seu olhar não acrescenta ou retira qualquer energia do café. Você pode afirmar que ele está quente sem ter que prová-lo. Mas ao colocar um termômetro dentro dele, você estará interagindo fisicamente com o café e, desse modo, o sujeita a uma alteração.

Para fazer medições microscópicas, é mais complexo. Um fóton, ao se chocar com um elétron, altera o seu movimento, e o faz de uma maneira imprevisível. Se desejássemos observar um elétron e determinar sua localização por meio de luz, o comprimento de onda da radiação luminosa teria que ser muito pequeno. Com um comprimento de onda mais curto, podemos “enxergar” melhor o minúsculo elétron, mas tal comprimento de



onda corresponde a uma grande quantidade de energia, que produz uma alteração maior no estado de movimento do elétron. Se, por outro lado, usamos um comprimento de onda mais longo, que corresponde a uma menor quantidade de energia, é menor a alteração induzida no estado de movimento eletrônico, mas será menos precisa a determinação de sua posição. O ato de observar algo tão minúsculo quanto um elétron produz uma considerável incerteza ou em sua posição ou em seu momento linear (quantidade de movimento).

A incerteza existente nas medições realizadas no mundo atômico foi expressa matematicamente pela primeira vez pelo físico alemão Werner Heisenberg, e é chamada de **princípio da incerteza**. Este é um princípio fundamental da mecânica quântica, e é válido exclusivamente para ela.



Werner Heisenberg

Heisenberg descobriu que quando se multiplica as incertezas existentes nas medidas de momentum e de posição de uma partícula, o resultado deve ser igual ou maior do que a constante de Planck,  $h$ , dividida por  $2\pi$ , uma constante que é representada por  $\hbar$  ( $h$  cortado). O princípio da incerteza é representado por:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

Em que:

- ▶  $\Delta x$  é a incerteza da posição
- ▶  $\Delta p$  é a incerteza do momento linear (lembre-se que momento linear ou quantidade de movimento, é expresso por  $p = mv$ , o produto da massa pela velocidade)
- ▶ O produto dessas duas incertezas deve ser maior ou igual do que  $\hbar$ .
- ▶ O significado do princípio da incerteza é que, mesmo nas melhores condições para as medições, o limite inferior das incertezas é  $\hbar$ . Se desejamos conhecer o momento linear do elétron com grande precisão, a incerteza em sua posição será muito grande.
- ▶ O princípio da incerteza funciona analogamente com a energia e o tempo. Não podemos medir a energia da partícula com total precisão durante um período de tempo infinitamente curto. A incerteza da energia e do tempo estão relacionadas pela expressão:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Quanto mais precisamente determinamos a energia de um fóton, um elétron ou um próton, maior imprecisão existirá acerca do tempo durante o qual a partícula possui aquela energia.



## O MODELO ATÔMICO DE BOHR

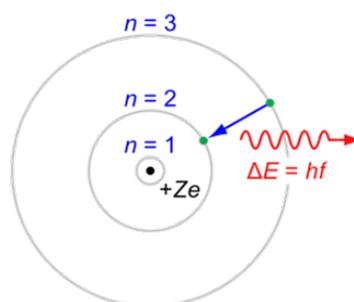
Em 1913, Niels Bohr aplicou a teoria quântica ao átomo nuclear de Rutherford e formulou o bem conhecido modelo planetário do átomo. Bohr considerava que os elétrons “ocupassem” estados “estacionários” (de energia fixa, e não posição fixa) a diferentes distâncias do núcleo, e que os elétrons pudessem realizar “saltos quânticos” de um estado de energia para outro. Ele considerou que a luz é emitida quando ocorre um desses saltos quânticos (de um estado de energia mais alta para outro de energia mais baixa).



Niels Bohr

Bohr percebeu que a frequência da radiação emitida é determinada por  $E = h \cdot f$ , onde  $E$  é a diferença na energia do átomo quando os elétrons estão em órbitas diferentes.

A frequência do fóton, e sua cor, depende do tamanho do salto.



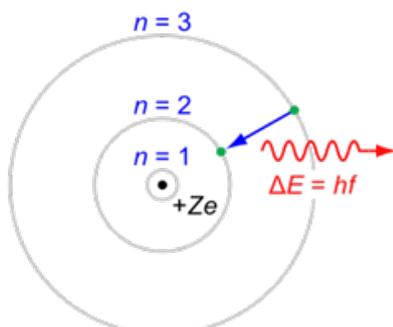
Modelo atômico de Bohr.

O esquema acima ilustra o átomo de Bohr. As diferentes órbitas correspondem a diferentes níveis de energia, representados por  $n$ , em que  $n = 1$  é um nível de energia menor do que  $n = 2$  e  $n = 3$ .

Se um elétron é elevado ao terceiro nível de energia, ele pode retornar ao seu nível original com um único salto do terceiro para o primeiro nível – ou por meio de um salto duplo, primeiro até o segundo nível e daí para o primeiro. Essas duas possibilidades de retorno produzirão um total de três linhas espectrais.

A emissão de energia de um elétron só ocorre quando este passa de um nível para outro.

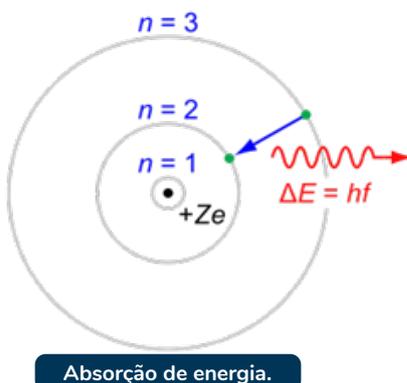
O elétron emite energia quando passa de um nível de energia mais alto para um mais baixo;



Emissão de energia.



O elétron absorve energia quando passa de um nível de energia mais baixo para um mais alto.



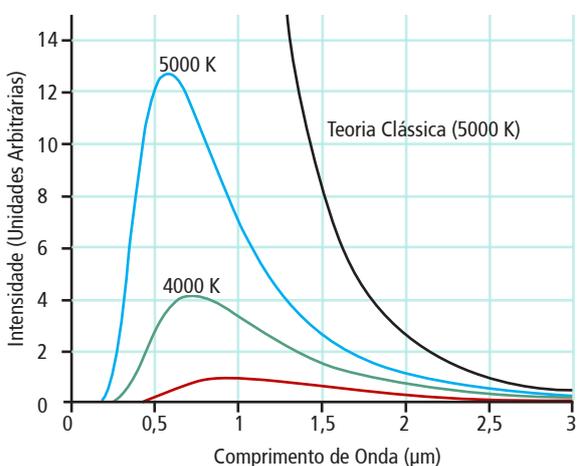
## RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Lembra quando vimos em Termodinâmica que corpos que estejam a temperaturas acima do zero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) emitem radiação? Todas as partículas que compõem a matéria que estejam acima dessa temperatura estão em constante agitação, o que faz com que emitam radiação. Quanto maior for a temperatura do objeto, mais a radiação se tornará visível – na faixa da luz visível até o ultravioleta.

Dessa forma, quanto menor o comprimento de onda, ou seja, quanto maior a frequência emitida pelo objeto, maior será a sua temperatura e vice-versa. É por esta razão que as estrelas azuis (de frequência maior) são mais quentes que as estrelas vermelhas. Essa relação pode ser entendida através de uma equação, definida pelo físico alemão Wilhelm Wien, conhecida como a **lei dos deslocamentos de Wien**, que relaciona o comprimento de onda máximo emitido por um corpo em função da sua temperatura absoluta. Sua expressão é dada por:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T},$$

sendo “b” a constante de Wien cujo valor aproximado é de  $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ .



À medida que a temperatura diminui, o pico da curva da radiação de um corpo negro se desloca para menores intensidades e maiores comprimentos de onda.



Um corpo que é considerado como **corpo negro** é aquele que emite toda a radiação térmica a altas temperaturas, ou seja, toda a radiação é emitida em variados comprimentos de onda, de forma que o corpo se torna incandescente. Pela mesma razão, a baixas temperaturas, esse corpo absorve toda a radiação que incide nele, de forma que não seria capaz de emitir radiação visível, por isso ele não se torna visível, e apareceria como negro. O corpo emite apenas radiação na faixa do infravermelho, que nossos olhos não conseguem captar.

Um corpo com esta característica é ideal, e por esta razão não existe na natureza.

## LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

O físico austríaco Josef Stefan concluiu que a energia irradiada por um corpo aquecido é proporcional à quarta potência da temperatura. Seu aluno Ludwig Boltzmann chegou à formulação final da expressão que ficou conhecida como lei de Stefan-Boltzmann.

A lei de Stefan-Boltzmann afirma que a potência total irradiada pelo corpo negro é diretamente proporcional à área ( $S$ ) da superfície emissora e diretamente proporcional à quarta potência da temperatura absoluta ( $T$ ):

$$P = \sigma ST^4$$

Onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, a intensidade da radiação é diretamente proporcional à temperatura absoluta elevada ao expoente quatro.

$$I = \sigma T^4$$

### ANOTAÇÕES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---