

Relatório Final

Tópicos de Ensino de Física – I

Determinação da Constante de Planck



Aluno: Alex Gomes de Oliveira, RA: 058614
Email: alex.chio@gmail.com

Orientador: Professor Doutor Ernesto Kemp
Email: kemp@ifi.unicamp.br

Coordenador: Professor Doutor Joaquim Lunazzi

Índice:

1 – Resultados atingidos 3
2 – Fotos da Experiência.....8
3 – Dificuldades Encontradas.....14
4 – Pesquisa Realizada.....15
5 – Descrição do Trabalho17
6 – Declaração do Orientador18
Apêndices.....19

1- Resultados Atingidos

Montagem Experimental

No projeto tínhamos apenas colocado os materiais que foram utilizados para fazer os primeiros ajustes do circuito, pois até então havia dúvidas sobre como seria montado o circuito após os testes iniciais feitos em uma matriz de contato.

Então definimos montar o circuito com os dois leds em uma placa pré-fabricada com trilhas de contato bem definidas. Para o suporte do circuito foi utilizada uma placa de acrílico de cor laranja com quatro pés de borracha como base de sustentação, como mostra a **figura 3**.

O circuito é formado por um potenciômetro de $470\ \Omega$ paralelo a uma chave liga e desliga, este bloco entre potenciômetro e chave é alimentado por uma tensão de 3 V proveniente de duas pilhas comerciais pequenas tamanho AA. Em paralelo a este bloco é ligado dois leds, um verde e um vermelho paralelos entre si, desta forma podemos ajusta o potenciômetro de forma a alimentar a tensão nos leds com a intensidade que desejamos, o layout do circuito é mostrado na **figura A** abaixo.

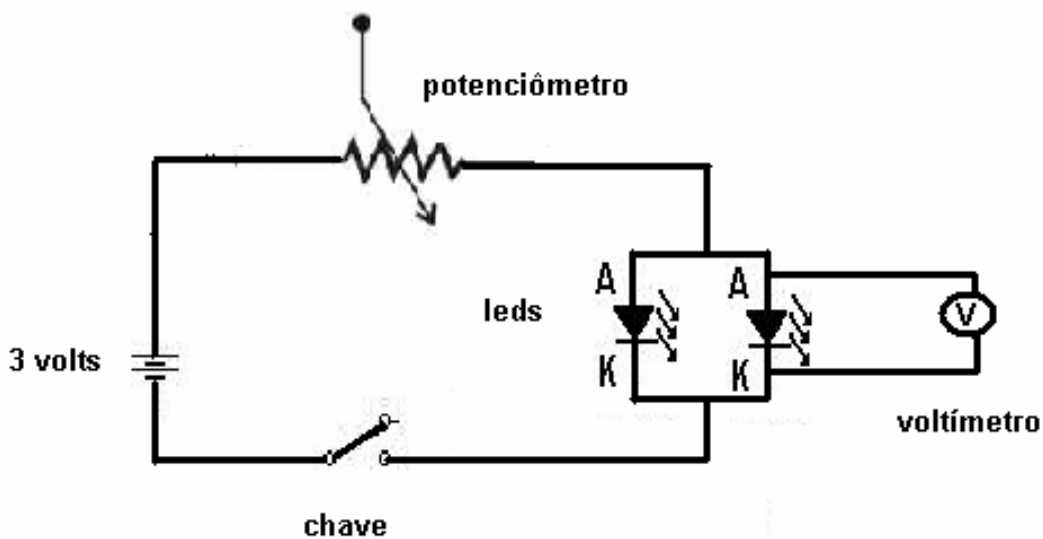


Figura A: Layout do circuito montado para obter a tensão dos leds

No led verde é colocado um voltímetro para medir a intensidade de tensão nos leds, pois como são de cores diferentes usam quantidades de energia diferente para acender e emitir luz.

Para a base do acrílico usamos quatro borrachas cilíndricas e quatro parafusos para a fixação das mesmas. O interessante aqui para quem for eventualmente reproduzir este experimento é furar o acrílico com um metal quente, com uma chave de fenda, por exemplo, e não com uma furadeira de broca, pois está última acaba tencionando o acrílico de uma forma que ele trinca. Para deixarmos a placa de contato distante da placa de acrílico utilizamos dois parafusos com porca e dois suportes de borracha cilíndricos, como a placa foi furada para a fixação, colocamos dois anéis de plástico para isolar o contato entre as trilhas da placa de contato e o parafuso.

O potenciômetro e a chave foram fixados na base de acrílico para um manuseio mais fácil e seguro destes componentes, isso devido à fragilidade dos equipamentos eletrônicos. As pilhas foram colocadas em um suporte próprio para elas, fixado na parte inferior da placa de acrílico. A base de acrílico foi conseguida através de retalhos não mais utilizados.

Usamos a matriz de contato para montar um circuito para cada led, pois precisávamos separá-los para conseguir calcular o comprimento de onda de cada um deles.

O comprimento de onda de cada led foi conseguido através de um aparelho feito artesanalmente chamado espectrômetro. Ele foi montado em um suporte que contém uma fenda de um lado do suporte e do outro lado temos um cd que funciona como uma rede de difração. Pela relação de comprimento de onda por difração, conseguimos o comprimento de onda de cada led. Esta montagem está bem esclarecida em fotos do experimento.

A relação comprimento da difração pelo comprimento de onda está esquematizada no **apêndice A**.

A montagem já foi terminada, com o experimento funcionando corretamente depois dos devidos ajustes. Desta forma o experimento encontra-se completo em sua montagem experimental.

Dados Obtidos

Primeiro precisávamos encontrar os comprimentos de onda dos leds.

Usamos então o espectrômetro para através da difração do cd conseguir calcular o comprimento de onda de cada cor dos leds. Como já dito, a relação para este cálculo está **no apêndice A**.

Os comprimentos de onda obtidos estão colocados na tabela 1 abaixo.

Cor do led	Comprimento de onda em nm
Verde	572 ± 20
Vermelho	650 ± 28

Tabela 1: Comprimento de onda dos leds.

Consultando algumas tabelas na internet percebi que o valor encontrado estava com um erro maior do que o esperado, isso pode ter ocorrido devido a vários fatores como encapsulamento dos leds que deveria ser transparente, pois a cor vem da junção PN e não do encapsulamento. As medidas feitas por equipamentos não muito precisos como régua e trena.

Com o valor do comprimento de onda, nós encontramos a frequência de onda de cada led, para isso usamos a equação 1.

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

v = frequência de cada led

λ = comprimento de onda de cada led

c = velocidade da luz

Para maior precisão usamos a velocidade da luz com o valor $c = 2,99 \times 10^8$ m/s.

Com essa equação encontramos os valores da frequência de cada led, esses estão colocados na tabela 2 abaixo.

Cor do Led	Frequência de cada led (Hz)
Verde	$5,23 \pm 0,14 \times 10^{14}$
Vermelha	$4,60 \pm 0,21 \times 10^{14}$

Tabela 2: Frequência dos leds.

Para encontrar o valor da diferença de potencial que faz cada led acender usamos o voltímetro que é ligado em paralelo com o led verde.

Variando o potenciômetro da sua resistência mínima até certo valor estamos aumentando a diferença de potencial (ddp) nos leds de zero até um valor que vai acendê-lo. Para o led vermelho este valor é de 1.60 volts. Aumentando mais a ddp, vemos que agora quem acendeu foi o led verde, com uma ddp de 1.85 volts.

Para melhor visualização os dados das ddps estão colocados na tabela 3.

Cor dos leds	Diferença de potencial do leds (V)
Verde	$1.85 \pm 0,3$
Vermelho	$1.60 \pm 0,3$

Tabela 3: Diferença de Potencial dos leds.

Com estes dados encontrados nós calculamos a constante de Planck para cada led com a equação 2.

$$h = \frac{e \cdot V}{\nu} \quad (2)$$

Onde:

h = Constante de Planck

e = Carga do elétron [$1,602 \times 10^{-19}$ C]

V = Diferença de Potencial nos leds

ν = frequência de cada led.

Na tabela 4 encontramos o valor da constante de Planck para cada led.

Cor dos leds	Constante de Planck (J.s)
Vermelho	$5,58 \pm 1,20 \times 10^{-34}$
Verde	$5,67 \pm 1,00 \times 10^{-34}$

Tabela 4: Constante de Planck dos leds.

O erro do ficou muito grande, próximo de 20% de cada medida devido aos equipamentos utilizados no experimento, como a intenção é que o experimento seja feito por qualquer pessoa, escolhemos equipamentos que são de fácil acesso àqueles interessados em reproduzir o experimento. Podemos notar também que o erro para o led vermelho é maior que do verde, isso por ser mais difícil conseguir determinar o comprimento de onda do led vermelho, pelo fato de sua luz não ser tão intensa como a do led verde.

Como a constante de Planck tem o valor de $6,626068 \times 10^{-34}$ J.s, apesar de usar equipamentos que geraram um erro grande, conseguimos uma boa aproximação da constante em nosso experimento.

2. Fotos do Experimento

Neste item vou dar um panorama geral através das fotos de como o experimento foi sendo desenvolvido e quais as mudanças ocorridas durante este processo.

A figura 1 mostra os equipamentos utilizados no começo para ver se seria fácil encontrar os valores de tensão para cada led. Aqui usamos um multímetro, duas pilhas de 1,5 volts cada, uma matriz de contato, um potenciômetro, uma chave liga-desliga e os leds.



Figura 1: Peças iniciais de teste do projeto.

A figura 2 é a montagem do circuito da figura A, aqui o objetivo é verificar se o circuito funciona de verdade. Neste teste o circuito funcionou normalmente e conseguimos tirar os valores de tensão para cada led.

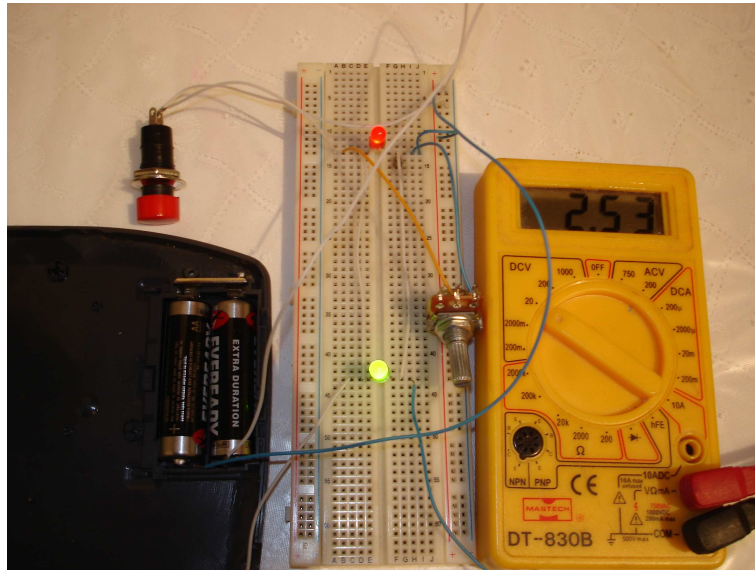


Figura 2: Teste para verificar se o circuito do Layout funciona.

A figura 3 mostra o circuito pronto para o experimento, em uma placa de acrílico que consegui como sucata. O circuito foi montado por baixo da placa de contato para não expor os fios, o botão liga/desliga e o potenciômetro foram fixados na placa de acrílico para um melhor manuseio. Coloquei também dois bornes na placa para facilitar a leitura das tensões no multímetro.

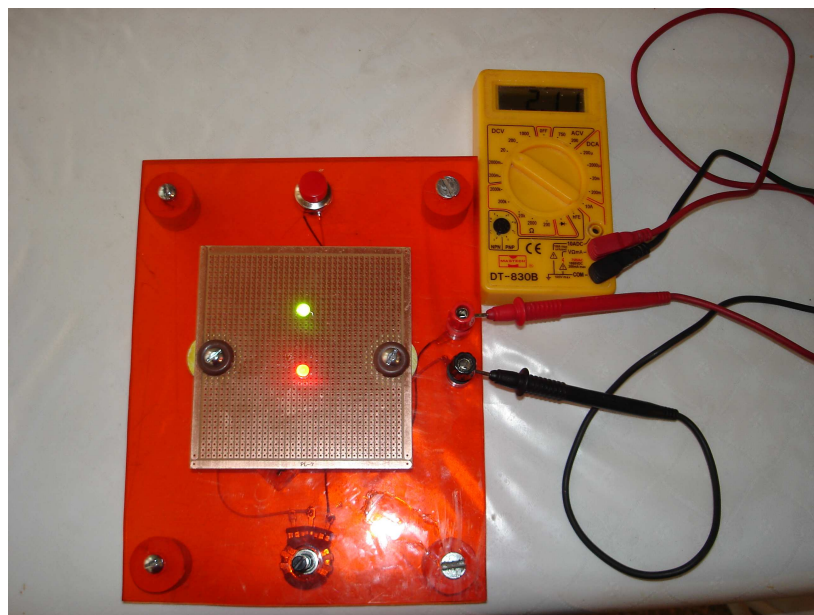


Figura 3: Experimento Montado com placa de acrílico e suporte de borracha.

A figura 4 mostra a diferença de potencial (ddp) para começar a acender o led vermelho. Podemos ver que o valor da tensão é de 1,60 volts.

Para achar este valor nós mudamos a resistência no potenciômetro, girando este até o led vermelho começar a acender, quando isso acontecer nós anotamos este valor que será usado para encontrar o valor da constante de Planck para este led.



Figura 4: Valor da ddp (tensão) para acender o led vermelho.

A figura 5 mostra a diferença de potencial (ddp) para acender o led verde, também conseguimos este valor girando o potenciômetro até que o led verde comece a acender. Este processo é feito visualmente, como a sensibilidade do olho para isso não é tão boa, acabamos acumulando erros de medida que são calculados e adicionados às medidas. Uma forma de minimizar o erro é tentar acender o led várias vezes sempre anotando o valor que ele acendeu, depois fazemos uma média simples destes valores para um resultado mais satisfatório.



Figura 5: Valor da ddp (tensão) para acender o led verde.

A figura 6 mostra o espectrômetro utilizado no experimento, ele faz parte da coleção do professor José Joaquim Lunazzi e é utilizado para estudar o fenômeno de difração por uma fenda, podendo utilizar várias fontes de luz.

Este espectrômetro é fácil de montar, para isso é necessário uma placa de qualquer meta, com uma fenda fina, um porta cd e o próprio cd, como na figura 6.

Esta foto mostra o espectrômetro completo, temos duas bases que são paralelas entre si. Onde está fixada a lâmpada branca, temos uma placa preta com uma fenda de espessura bem fina por onde a luz passa, ao passar por está fenda a luz dispersa e reflete no cd que está na outra base. Pela dispersão da luz conseguimos ver o espectro de luz para fontes diferentes, deste espectro conseguimos calcular o comprimento de onda, para este cálculo usamos as equações do apêndice A.

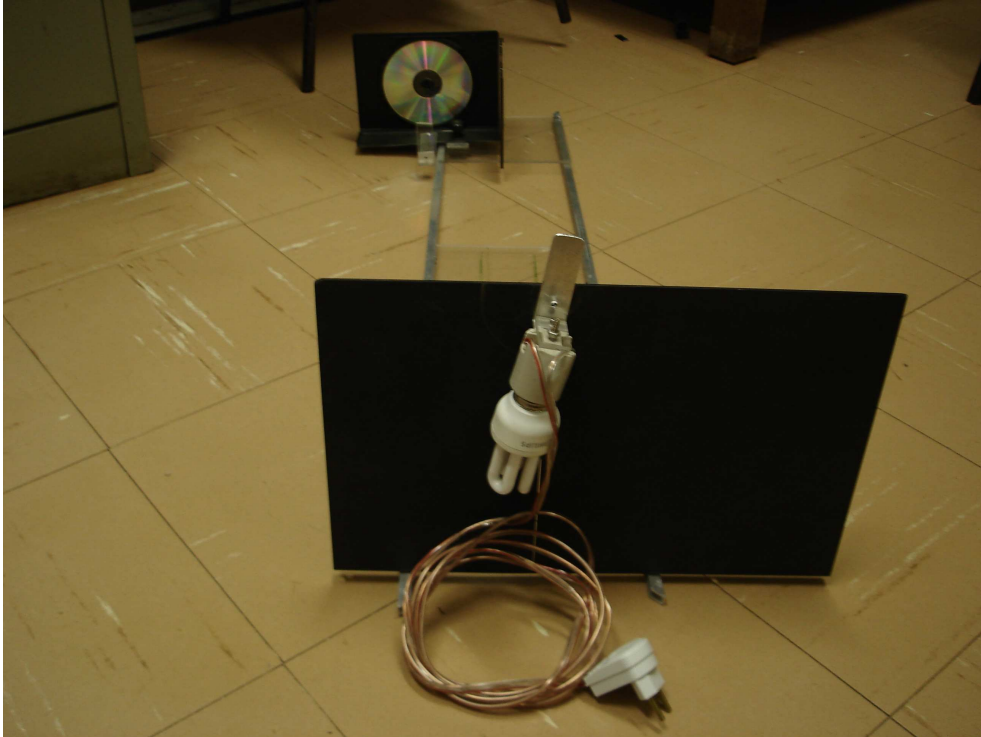


Figura 6: Espectrômetro Utilizado para obter os Comprimentos de ondas (λ) para cada led.

Na figura 7 temos a montagem para o led vermelho no espectrômetro, colocamos o led desta forma, pois sua intensidade de luz é maior na parte esférica. Com o led posicionado nesta forma nós apagamos a luz e vimos o espectro da luz do led aparecer no cd. Este procedimento foi feito também para o led verde.

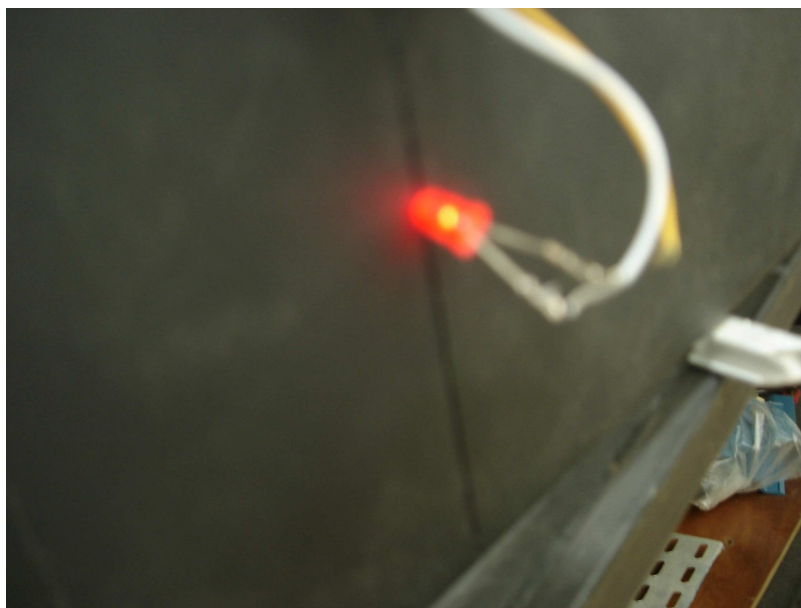


Figura 7: Led vermelho colocado no espectrômetro.

A figura 8 mostra a outra base do espectrômetro, nesta temos um cd que gira para termos uma melhor visão de onde está o espectro da luz, aqui não foi possível tirar fotos do espectro devido a baixa intensidade de luz para cada led.

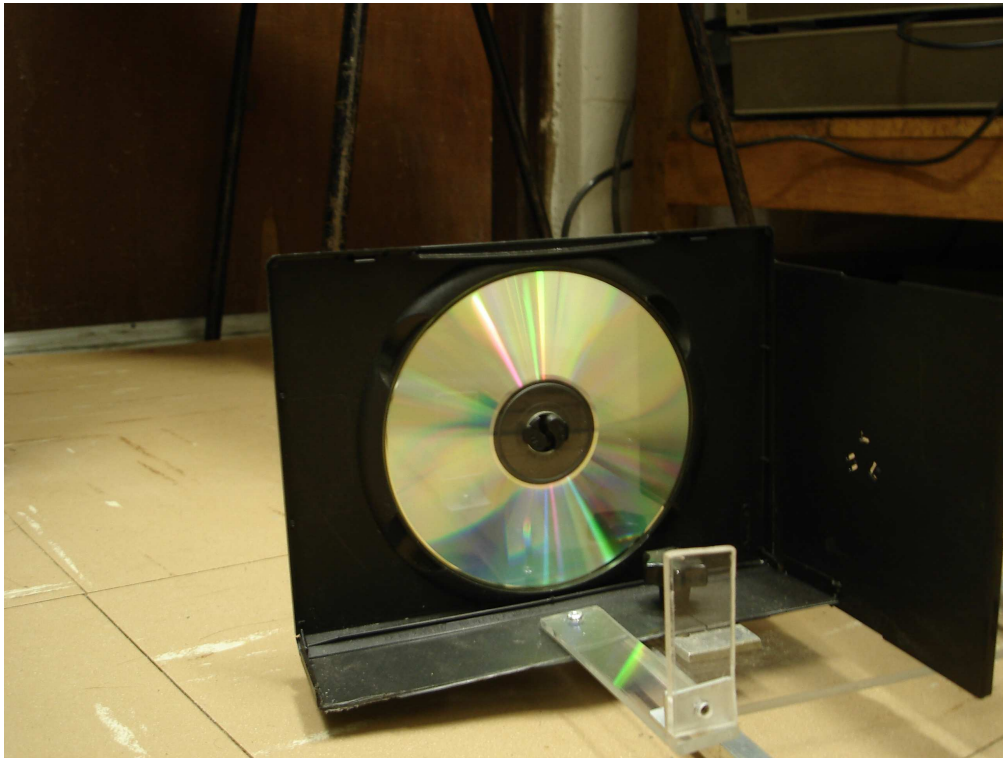


Figura 8: Base do espectrômetro usada para ver o espectro da luz.

3. Dificuldades Encontradas

A primeira dificuldade encontrada foi conseguir um potenciômetro de boa qualidade, pois nos testes feitos na matriz de contato dois potenciômetros queimaram mesmo sendo colocados a uma potência baixa. Depois de pesquisar adotei o potenciômetro de carvão com três saídas. Este até agora está funcionando sem problemas.

Outro problema foi tentar encontrar um modelo de led adequado para o experimento, pois no mercado existem muitos tipos de led e alguns apresentam características muito diferentes dos padrões de um led. Como nas lojas que eu fui não tinha o tipo de fabricante escrito em cada led, eu pesquisei na internet e percebi que mesmo com tanta diferença de modelo, as características dos leds não variam muito, podendo ser usados para experimentos simples como o da constante de Planck. A diferença desses leds serve apenas para circuitos eletrônicos muito sensíveis.

Para a montagem do circuito a dificuldade foi como conseguir furar o acrílico sem danificá-lo, então percebemos que seria melhor furar com uma chave de fenda aquecida, pois com a furadeira teria o perigo de trincar a placa devida à tensão feita pela broca placa.

Outra dificuldade foi em definir a diferença de potencial (ddp) de cada led com o multímetro, isso porque perdemos precisão ao manusear o potenciômetro com a mão, pois a variação da ddp a cada vez que se mexia no potenciômetro era muito grande. Desta forma mexemos no potenciômetro de uma forma bem sutil para encontrar um valor mais preciso para a tensão que acendia os leds.

4. Pesquisa Realizada

As palavras-chave utilizadas na internet foram:

- Constante de Planck;
- Determinação da constante de Planck;
- Led vermelho;
- Led verde.

As referências utilizadas foram:

[1] - Física Moderna Experimental: Cristiane R.C. Tavoraro; Marisa Almeida Cavalcante. Editora Manole Ltda ; 1º edição 2003. pg 72-81.

Este livro foi a base para a montagem do meu experimento, ele mostra como é feito todo o processo para a determinação da constante de Planck, desde os materiais a serem utilizados até as sugestões de como conseguir o comprimento de onda.

O livro tem vários experimentos de física moderna que podem ser feitos de uma forma simples e sem precisar de muita teoria, excelente para despertar a curiosidade em alunos de ensino médio e superior.

[2] - D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. 4, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.

Com o Halliday eu busquei entender como ocorre a emissão de luz no led quando o elétron faz a transição de um nível de energia maior para um nível de energia menor, pois neste processo o elétron emite um fóton de energia que é a luz que nós vemos.

[3] - <http://www.utiluz.com.br>

Este site tem um artigo falando do funcionamento de um led, é de uma empresa privada, mas pode ser acessado por qualquer pessoa. Ele tem figuras ilustrativas que mostram características específicas dos leds e como eles evoluíram no tempo.

[4] <http://fma.if.usp.br/~everton/personal/iniciacao/fismod01/node17.html>

Este site explica quando Planck introduziu sua teoria as equações por ele utilizadas.

[5] - <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/312501.pdf>

Este artigo do professor José Joaquim Lunazzi trata da luz difratada por um disco digital formando imagens diferentes mas com simetrias interessantes, o experimento é fácil de ser feito e dá uma ótima noção do que acontece com a luz difratada em um disco digital.

5. Descrição do Trabalho

Resumo: Este é um trabalho simples que visa mostrar aos alunos como pode ser medida a constante de Planck por meio de diodos emissores de luz (leds). É feito através de um circuito simples com o objetivo de um melhor entendimento sobre esta constante que é tão usada em física quântica.

Descrição: Usando um material de fácil acesso aos alunos de ensino médio, montamos um circuito simples com dois leds que é usado para medir a constante de Planck. Esta constante serve para várias medidas na física moderna, entre elas mostrar que a energia que estudamos no ensino médio não é um valor contínuo, mas sim um valor quantizado, ou seja, existe uma diferença fixa entre cada estado de energia existente.

Apêndice:

No apêndice A temos uma descrição retirada do site do Professor Everton G. de Santana que de maneira simples e com ilustrações como calcular o comprimento de onda de uma luz através de difração por uma fenda.

No apêndice B temos o conteúdo do site que eu coloquei na referências. Ele dá uma explicação muito detalhada do funcionamento de um led, como ele dissipa calor e quais as vantagens de se usar leds nos dias atuais.

No apêndice C temos um resumo da constante de Planck, feito em um trabalho de iniciação científica na Universidade Estadual de São Paulo. Nele o aluno mostra quando a constante de Planck foi descoberta e o que ela trazia de novo para a física moderna.

6. Declaração do Orientador

O orientador tinha como idéia inicial montar este experimento não só visando os alunos de faculdades, mas principalmente para despertar a curiosidade dos alunos de ensino médio.

E esse objetivo foi alcançado, a montagem é simples e feita com peças que qualquer aluno do ensino médio pode conseguir, com isso conseguimos introduzir conceitos de física moderna para alunos do ensino médio.

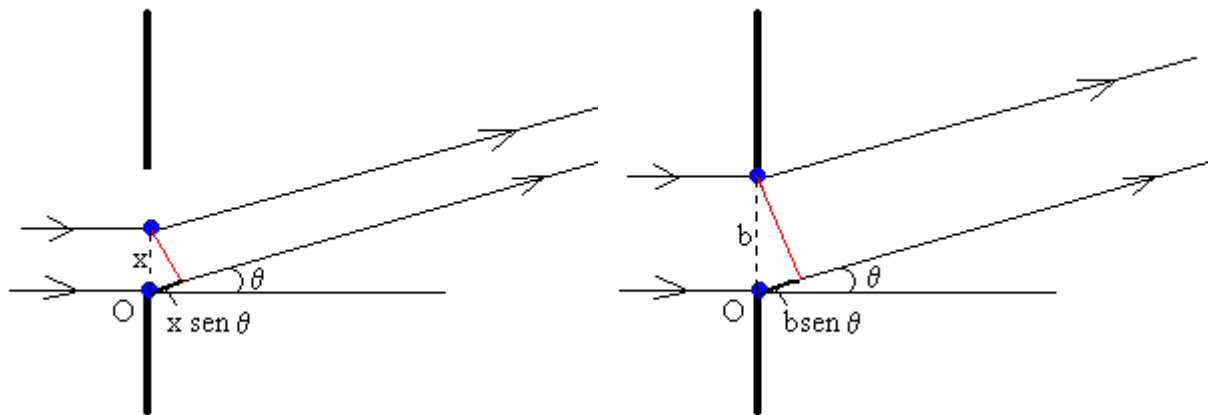
Apêndices:

Apêndice A:

Cálculo do comprimento de onda por Difração

A difração é junto com a interferência um fenômeno tipicamente ondulatório. A difração é observada quando uma onda muda de direção devido a um obstáculo cujas dimensões são comparáveis ao comprimento de onda. O caso mais simples corresponde a difração de Fraunhofer, na qual o obstáculo é uma fenda estreita e grande, de modo que podemos ignorar os efeitos dos extremos. Suponha que as ondas incidentes são normais ao plano da fenda, e que o observador se encontra a uma distância grande em comparação com a largura da mesma.

De acordo com o [princípio de Huygens](#), quando a onda incide sobre uma fenda todos os pontos de seu plano são convertidos em fontes secundárias de ondas, emitindo novas ondas, denominadas ondas difratadas, por que a explicação do fenômeno da difração não é qualitativamente diferente da interferência. Uma vez que foi estudado a [interferência de um número limitado de fontes](#), a difração é explicada a partir da interferência de um número infinito de fontes.

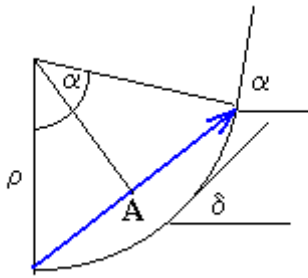


Seja b a largura da fenda, e consideremos que as infinitas fontes secundárias de ondas estão distribuídas ao longo da fenda.

- A diferença de caminho entre a fonte que passa pela origem e a que passa pelo ponto x é, $x \cdot \sin \theta$.
- A diferença de caminho entre a fonte situada na origem e a situada no outro extremo da fenda será $b \cdot \sin \theta$.

O estado do ponto P é a superposição de infinitos M.H.S. A soma dos infinitos vetores de amplitude infinitesimal produz um arco de circunferência, cuja corda é a resultante Ψ_0 .

O ângulo δ que forma o vetor situado em x com a horizontal vale $kx \cdot \text{sen} \theta$



O ângulo α que forma o vetor situado em $x=b$ com a horizontal vale, $kb \cdot \text{sen} \theta = 2\pi b \cdot \text{sen} \theta / \lambda$. Este ângulo é o mesmo que o que subtende o arco da circunferência de raio ρ .

Calculamos o comprimento da corda, logo, a resultante.

$$\text{cuerda } A = 2, \rho \text{sen} \frac{1}{2} \alpha = 2, \rho \text{sen} \frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda}$$

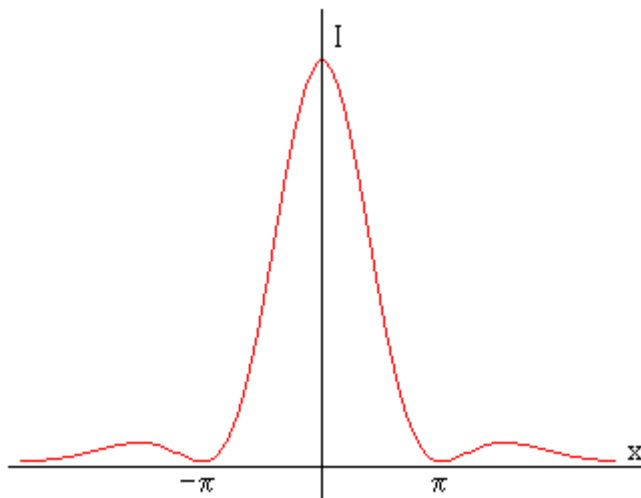
$$\text{arco } A_0 = \rho \alpha = \rho \frac{2 \pi b \text{sen} \theta}{\lambda}$$

Eliminando o raio ρ , resta

$$A = A_0 \left(\frac{\text{sen} \frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda}}{\frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda}} \right)$$

e como as intensidades são proporcionais aos quadrados das amplitudes

$$I = I_0 \left(\frac{\text{sen} x}{x} \right)^2 \quad x = \frac{\pi b \text{sen} \theta}{\lambda}$$



O máximo da difração é produzido quando o argumento do seno é zero, já que

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\text{sen } x}{x} = 1$$

Para que este argumento seja zero, o ângulo θ deve ser zero. Temos um máximo de intensidade na origem, na direção perpendicular ao plano da fenda.

Mínimos de intensidade

Os mínimos de intensidade são produzidos quando o argumento do seno é um múltiplo inteiro de π , logo, quando

$$\frac{\pi b \text{ sen } \theta}{\lambda} = n \pi$$

ou então, quando

$$b \cdot \text{sen } \theta = n \lambda \quad (n=1, 2, 3\dots) \quad \text{mínimos de intensidade}$$

Esta é a fórmula que descreve o fenômeno da difração Fraunhofer produzido por uma fenda estreita.

Máximos secundários

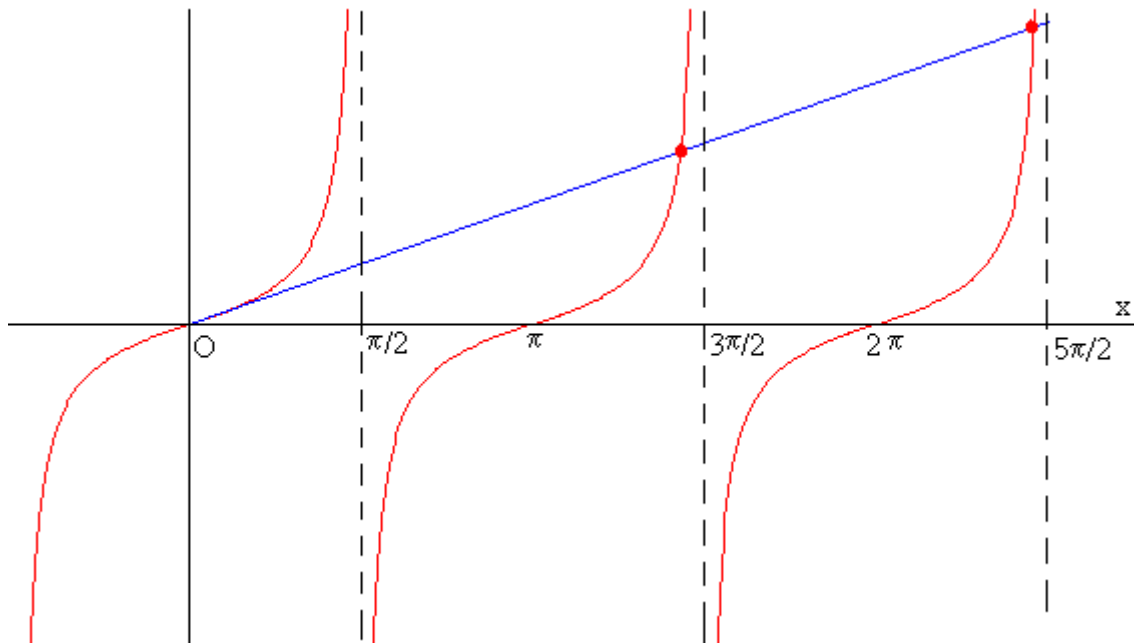
Os máximos e mínimos são calculados derivando a fórmula da intensidade relativo a $x = \pi b \cdot \text{sen } \theta / \lambda$

$$I = I_0 \frac{\text{sen}^2 x}{x^2}$$

$$\frac{dI}{dx} = 2I_0 \left(\frac{\text{sen } x}{x} \right) \left(\frac{x \cos x - \text{sen } x}{x^2} \right)$$

- Quando $\text{sen } x / x = 0$ temos um mínimo de intensidade, pois $I=0$
- Quando $x \cos x - \text{sen } x = 0$ ou então, quando $x = \tan x$ temos um máximo de intensidade

Por exemplo quando $x=0$, porém também para outros valores de x que são as raízes da equação transcendental $x = \tan x$. Estas raízes podem ser calculadas numericamente ou graficamente.



Como observamos no gráfico os máximos secundários ocorrem aproximadamente para $x_n \approx (2n+1)\pi/2$ onde $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

levando em conta que $\text{sen}(x_n) = 1$. A intensidade devida a difração na direção correspondente aos máximos secundários é aproximadamente igual a

$$I = I_0 \frac{4}{\pi^2} \frac{1}{(2n+1)^2}$$

que como vemos decresce rapidamente a medida que se incrementa n .

Apêndice B: Funcionamento de um led.

Tirado de um site de uma empresa particular este apêndice mostra como funciona um led e quais as vantagens e desvantagens de se usar um led atualmente. O texto tem figuras que ajudam a entender todos os passos de emissão de um proporcionado pelo led.

- O que é LED ? Como funciona ?

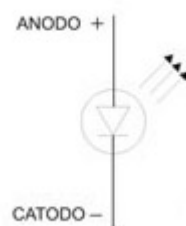
Descrição

O LED é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo

emissor de luz (L.E.D = Light emitter diode), mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Tal transformação é diferente da encontrada nas lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, dentre outras. Nos LEDs, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamada de Estado sólido (Solid State).

O LED é um componente do tipo bipolar, ou seja, tem um terminal chamado anodo e outro, chamado catodo. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz.

Abaixo, na figura 1, temos a representação simbólica e esquemática de um LED.

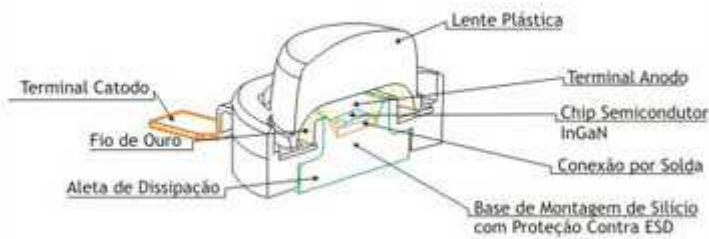


O componente mais importante de um LED é o chip semicondutor responsável pela geração de luz. Este chip tem dimensões muito reduzidas, como pode ser verificado na Figura 2 , onde apresentamos um LED convencional e seus componentes.

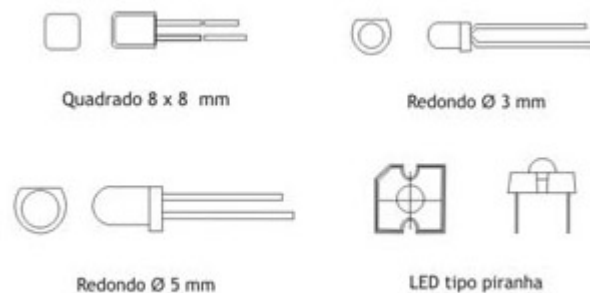


Na Figura 3, apresentamos um LED de potência, em que podemos observar a maior complexidade nos componentes, a fim de garantir uma melhor performance em aplicações que exigem maior confiabilidade e eficiência.

SUPER LED DE 1,0 3,0 E 5,0 Watts



Alguns tipos de LEDs encontrados no mercado.



Histórico

Apesar do LED ser um componente muito comentado hoje em dia, sua invenção, por Nick Holonyac, aconteceu em 1963, somente na cor vermelha, com baixa intensidade luminosa (1 mcd). Por muito tempo, o LED era utilizado somente para indicação de estado, ou seja, em rádios, televisores e outros equipamentos, sinalizando se o aparelho estava ligado ou não.

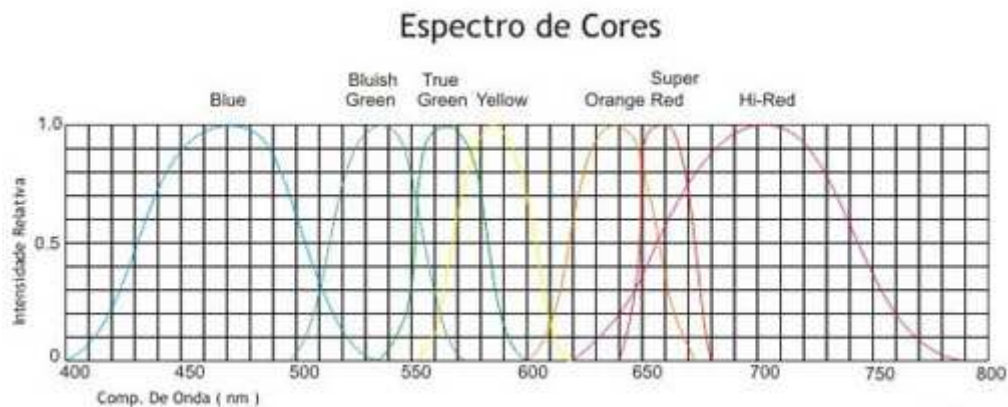
O LED de cor amarela foi introduzido no final dos anos 60. Somente por volta de 1975 surgiu o primeiro LED verde – com comprimento de onda ao redor de 550 nm, o que é muito próximo do comprimento de onda do amarelo, porém com intensidade um pouco maior, da ordem de algumas dezenas de milicandelas.

Durante os anos 80, com a introdução da tecnologia Al In GaP, os LEDs da cor vermelha e âmbar conseguiram atingir níveis de intensidade luminosa que permitiram acelerar o processo de substituição de lâmpadas, principalmente na indústria automotiva.

Entretanto, somente no início dos anos 90, com o surgimento da tecnologia InGaN foi possível obter-se LEDs com comprimento de onda menores, nas cores azul, verde e ciano, tecnologia esta que propiciou a obtenção do LED branco, cobrinho, assim, todo o espectro de cores.

Até então, todos estes LEDs apresentavam no máximo de 4.000 a 8.000 milicandelas, com um ângulo de emissão entre 8 a 30 graus. Foi

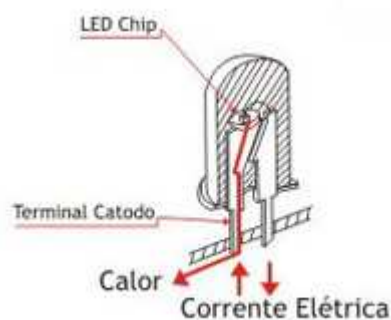
quando, no final dos anos 90, apareceu o primeiro LED de potência Luxeon, o qual foi responsável por uma verdadeira revolução na tecnologia dos LEDs, pois apresentava um fluxo luminoso (não mais intensidade luminosa) da ordem de 30 a 40 lumens e com um ângulo de emissão de 110 graus. Hoje em dia, temos LEDs que atingem a marca de 120 lumens de fluxo luminoso, e com potência de 1,0 – 3,0 e 5,0 watts, disponíveis em várias cores, responsáveis pelo aumento considerável na substituição de alguns tipos de lâmpadas em várias aplicações de iluminação.

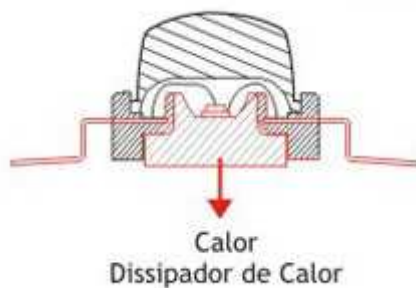


Os leds não liberam calor

A luz emitida pelos LEDs é fria devido a não presença de infravermelho no feixe luminoso. Entretanto, os LEDs liberam a potência dissipada em forma de calor e este é um fator que deve ser levado em consideração quando do projeto de um dispositivo com LEDs, pois a não observância deste fato poderá levar o LED a uma degradação acentuada do seu fluxo luminoso, bem como redução da sua vida útil. Boa parte da potência aplicada ao LED é transformada em forma de calor e a utilização de dissipadores térmicos deverá ser considerada a fim de que o calor gerado seja dissipado adequadamente ao ambiente, permitindo que a temperatura de junção do semicondutor (T_j) esteja dentro dos limites especificados pelo fabricante.

Na Figura 4 apresentamos uma ilustração de um LED convencional de 5 mm e podemos observar que o caminho da potência dissipada em forma de calor é o mesmo da corrente elétrica, e esta disposição é feita pela trilha de cobre da placa de circuito impresso. Já na Figura 5, apresentamos um LED de potência com encapsulamento, no qual podemos observar que os caminhos térmico e elétrico são separados e a retirada de calor é feita através do acoplamento de um dissipador térmico à base do LED, garantindo, com isto, uma melhor dissipação.



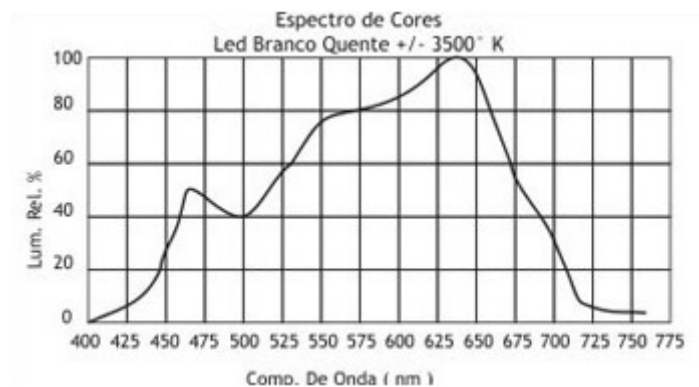
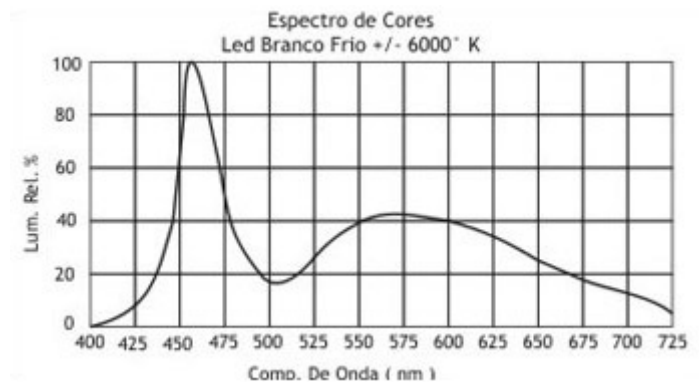


Benefícios no uso dos leds

- Custos de manutenção reduzidos: Em função de sua longa vida útil, a manutenção é bem menor, representando menores custos.
- Eficiência: Apresentam maior eficiência que as Lâmpadas incandescentes e halógenas e, hoje, muito próximo da eficiência das fluorescentes (em torno de 50 lumens / Watt) mas este número tende a aumentar no futuro.
- Baixa voltagem de operação: Não representa perigo para o instalador.
- Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos, vidros, etc, aumentando a sua robustez.
- Controle dinâmico da cor: Com a utilização adequada, pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.
- Acionamento instantâneo: Tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.
- Controle de Intensidade variável: Seu fluxo luminoso é variável em função da variação da corrente elétrica aplicada a ele, possibilitando, com isto, um ajuste preciso da intensidade de luz da luminária.
- Cores vivas e saturadas sem filtros: Emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa, (veja espectro de cores) tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas, em função da ação da radiação ultravioleta do sol
- Luz direta, aumento da eficiência do sistema: Apesar de ainda não ser a fonte luminosa mais eficiente, pode-se obter luminárias com alta eficiência, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED.
- Ecologicamente correto: Não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause dano à natureza.
- Ausência de ultravioleta: Não emitem radiação ultravioleta sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejada. Ex.: Quadros –

obras de arte etc...

- Ausência de infravermelho: Também não emitem radiação infravermelho, fazendo com que o feixe luminoso seja frio.
- Com tecnologia adequada P.W.M, é possível a dimerização entre 0% e 100% de sua intensidade, e utilizando-se Controladores Colormix Microprocessados, obtém-se novas cores, oriundas das misturas das cores básicas. Que são: branco, azul, verde, azul, verd, amarelo, vermelho.
- Ao contrário das lâmpadas fluorescentes que tem um maior desgaste da sua vida útil no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível o acendimento e apagamento rapidamente possibilitando o efeito "flash", sem detrimento da vida útil.



- Maior vida útil: Dependendo da aplicação, a vida útil do equipamento é longa, sem necessidade de troca. Considera-se como vida útil uma manutenção mínima de luz igual a 70%, após 50.000 horas de uso.

Apêndice C: Resumo sobre a constante de Planck.

É uma explicação feita por um aluno de iniciação científica da USP que dá uma resumida na descoberta da constante de Planck, com essa explicação fica mais fácil para um aluno entender qual a aplicação da constante de Planck e o que ela trouxe de novo na física moderna.

Constante de Planck

Em 1900 Max Planck fez uma hipótese que a distribuição de energia de osciladores atômicos não é contínua. Assim o espectro de radiação térmica pode ser explicado se o espaço entre os níveis de energia é proporcional à frequência de oscilação (*quantização da energia*).

$$E_n = nh\nu \Rightarrow \Delta E = h\nu$$

Planck não explicou por que a energia é quantizada. Mas agora sabemos que os níveis de energia de um oscilador são quantizados devido à natureza quântica das partículas. Esta também é a razão pela qual os elétrons não entram em colapso no átomo.

A energia média por oscilador é dada por:

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n f_n}{\sum_{n=0}^{\infty} f_n} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{nhc}{\lambda}\right) e^{-nhc/\lambda kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nhc/\lambda kT}}$$

Quando a *diferença* entre os níveis de energia é *pequena* comparado à $\langle E \rangle$, a energia média do oscilador é kT . Quando a diferença se torna pequena, tende à zero.

$$\langle E \rangle = \frac{hc}{\lambda(e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (2.5)$$

Através da equação (2.5) obtém-se:

$$\frac{dR}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (2.6)$$

Para grandes comprimentos de onda:

$$\begin{aligned}hc/\lambda &\ll kT \\ e^{hc/\lambda kT} &\approx \frac{2\pi ckT}{\lambda^4} \\ \frac{dR}{d\lambda} &= \frac{2\pi ckT}{\lambda^4} \end{aligned} \tag{2.7}$$

concordando com a distribuição de Rayleigh-Jeans (equação [\(2.1\)](#)).

Então sumariamente o que Planck fez com a descoberta dos *quanta* foi a amálgama entre a distribuição da radiância por unidade de comprimento de onda de Rayleigh-Jeans, que falhava para altas frequências (catástrofe do infravermelho), com a de Wien, que discordava para baixas frequências (equação [\(2.6\)](#)).