Exercícios Resolvidos de Física Básica

Jason Alfredo Carlson Gallas, professor titular de física teórica,

Doutor em Física pela Universidade Ludwig Maximilian de Munique, Alemanha

Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa, Brasil)

Departamento de Física

Baseados na **SEXTA** edição do "Fundamentos de Física", Halliday, Resnick e Walker.

Esta e outras listas encontram-se em: *http://www.fisica.ufpb.br/∼jgallas*

Contents

Comentários/Sugestões e Erros: favor enviar para `jasongallas @ yahoo.com` (sem "br" no final...)

(`listaq3.tex`)

37 Difração

37.1 Problemas e Exercícios

37.2 Difração por uma fenda: posições dos mínimos

E 37-1 (41-3/4^a edição)

Um feixe de luz de comprimento de onda de 633 nm incide em uma fenda estreita. O ângulo entre o primeiro mínimo de difração de um lado do máximo central e o primeiro mínimo do outro lado é 1.2^o. Qual é a largura da fenda?

► Basta usar a fórmula a sen $\theta = m\lambda$, com $m = 1$ e $\theta = 1.2^o/2 = 0.6^o$. Portanto

$$a = \frac{\lambda}{\text{sen }\theta} = \frac{633 \times 10^{-9}}{\text{sen } 0.6} = 60.4\ \mu\text{m}.$$

E 37-4 (41-5/4^a edição)

A distância entre o primeiro e o quinto mínimo de uma figura de difração de uma fenda é 0.35 mm, com a tela a 40 cm de distância da fenda, quando é usada uma luz com um comprimento de onda de 550 nm. (a) determine a largura da fenda. (b) Calcule o ângulo θ do primeiro mínimo de difração.

► **(a)** Chamando de y a posição do primeiro mínimo ($m_1 = 1$) na tela, e de $y + \Delta y$ a posição do quinto mínimo ($m_2 = 5$), temos que

$$\tan\theta_1 = \frac{y}{D}, \qquad \tan\theta_2 = \frac{y+\Delta y}{D}.$$

que nos fornecem

$$\tan\theta_2 - \tan\theta_1 = \frac{\Delta y}{D}.$$

Como $y < \Delta y$, podemos aproximar

$$\tan\theta_2 = \frac{y+\Delta y}{D} \simeq \frac{\Delta y}{D} = \frac{0.35}{400} = 8.75 \times 10^{-4}.$$

Este número pequeno nos informa que vale a aproximação $\tan\theta_2 \simeq \theta_2$ e, como $\theta_1 \ll \theta_2$, que $\tan\theta_1 \simeq \theta_1$. Nestas aproximações podemos escrever

$$\tan\theta_2 - \tan\theta_1 \simeq \theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta = \frac{\Delta y}{D}.$$

Por outro lado, sabemos que

$$a \text{ sen } \theta_1 = m_1\, \lambda \qquad \text{e} \qquad a \text{ sen } \theta_2 = m_2\, \lambda,$$

donde tiramos facilmente

$$\text{sen }\theta_2 - \text{ sen }\theta_1 \simeq \theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta = \frac{(m_2 - m_1)\lambda}{a}.$$

Comparando as duas expressões para $\Delta\theta$ vemos que

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{(m_2-m_1)\lambda}{a} = \frac{(\Delta m)\lambda}{a}.$$

Portanto

$$a = \frac{D\lambda(m_2-m_1)}{\Delta y} = \frac{(400)(550\times 10^{-6})(5-1)}{0.35} = 2.5 \text{ mm}.$$

(b) Para $m = 1$

$$\text{sen }\theta = \frac{m\lambda}{a} = \frac{(1)(550\times 10^{-6})}{2.5} = 2.2\times 10^{-4},$$

e, portanto, o ângulo pedido é

$$\theta = \text{ sen}^{-1}(2.2\times 10^{-4}) = 2.2\times 10^{-4} \text{ rad}.$$

P 37-6 (41-9/4^a edição)

Ondas sonoras com uma freqüência de 3000 Hz e uma velocidade de 343 m/s passam pela abertura retangular de uma caixa de som e se espalham por um grande auditório. A abertura, que tem uma largura horizontal de 30 cm, está voltada para uma parede que fica a 100 m de distância (Fig. 37.32). Em que ponto desta parede um ouvinte estará no primeiro mínimo de difração e, portanto, terá dificuldade para ouvir o som? (Ignore as reflexões.)

► Suponha que o primeiro mínimo esteja a uma distância y a partir do eixo central, perpendicular ao alto-falante. Neste caso, para $m = 1$ temos

$$\text{sen }\theta = \frac{y}{\sqrt{D^2+y^2}} = \frac{m\lambda}{a} = \frac{\lambda}{a}.$$

Resolvendo esta equação para y obtemos

$$y = \frac{D}{\sqrt{(a/\lambda)^2-1}} = \frac{D}{\sqrt{(af/v_s)^2-1}} = \frac{100}{\sqrt{[(0.3)(3000)/343]^2-1}} = 41.2 \text{ m}.$$

37.3 Determinação da intensidade da luz difratada por uma fenda — método quantitativo

E 37-9 (41-13/4^a edição)

Quando a largura de uma fenda é multiplicada por 2, a intensidade do máximo central da figura de difração é multiplicada por 4, embora a energia que passa pela fenda seja multiplicada por apenas 2. Explique quantitativamente o que se passa.

►

E 37-10 (41-12/4^a edição)

Uma luz monocromática com um comprimento de onda de 538 nm incide em uma fenda com uma largura de 0.025 mm. A distância entre a fenda e a tela é 3.5 m. Considere um ponto na tela a 1.1 cm do máximo central. (a) Calcule o valor de θ neste ponto. (b) Calcule o valor de α. (c) Calcule a razão entre a intesidade neste ponto e a intensidade no máximo central.

► **(a)**

$$\theta = \text{sen}^{-1}\Big(\frac{1.1}{3.5}\Big) = 0.18^o.$$

(b) Da Eq. 37.6 temos que

$$\begin{aligned} \alpha = \Big(\frac{\pi a}{\lambda}\Big)\ \text{sen}\ \theta &= \frac{\pi(0.025)}{538}\ \text{sen}\ 0.18^o \\ &= 0.458\ \text{rad}. \end{aligned}$$

(c) Da Eq. 37.5 tiramos que

$$\frac{I(\theta)}{I_m} = \Big(\frac{\text{sen}\ \alpha}{\alpha}\Big)^2 = \Big(\frac{\text{sen}\ 0.458}{0.458}\Big)^2 = 0.932.$$

37.4 Difração por uma abertura circular

E 37-15 (41-18/4^a edição)

Os dois faróis de um automóvel que se aproxima de um observador estão separados por uma distância de 1.4 m. Qual é (a) a separação angular mínima e (b) a distância máxima para que o olho do observador seja capaz de resolvê-los? Suponha que o diâmetro da pupila do observador seja 5 mm e que use um comprimento de onda de luz de 550 nm para a luz dos faróis. Suponha também que a resolução seja limitada apenas pelos efeitos da difração e portanto que o critério de Rayleigh possa ser aplicado.

► **(a)** Use o critério de Rayleigh, Eq. 37.14. Para resolver duas fontes puntiformes o máximo central da figura de difração de um ponto deve cair sobre ou além do primeiro mínimo da figura de difração do outro ponto. Isto significa que a separação angular das fontes deve ser pelo menos $\theta_R = 1.22\lambda/d$, onde λ é o comprimento de onda e d é o diâmetro da abertura. Portanto

$$\theta_R = \frac{1.22(550\times 10^{-9})}{5\times 10^{-3}} = 1.34\times 10^{-4}\ \text{rad}.$$

(b) Sendo L a distância dos faróis ao olho quando os faróis puderem ser pela primeira vez resolvidos, e D a separação dos faróis, então

$$D = L\tan\theta_R \approx L\theta_R,$$

onde foi feita a aproximação de ângulos pequenos $\tan\theta_R \approx \theta_R$, válida se θ_R for medido em radianos. Portanto

$$L = \frac{D}{\theta_R} = \frac{1.4}{1.34\times 10^{-4}} = 10.4\ \text{km}.$$

E 37-19 (41-23/4^a edição)

Estime a separação linear de dois objetos no planeta Marte que mal podem ser resolvidos em condições iniciais por um observador na Terra. (a) a olho nu e (b) usando o telescópio de 200 polegadas (=5.1 m) do Monte Palomar. Use os seguintes dados: distância entre Marte e Terra = 8×10^7 km; diâmetro da pupila = 5 mm; comprimento de onda da luz = 550 nm.

► **(a)** Use o critério de Rayleigh, Eq. 37.14: dois objetos podem ser resolvidos se sua separação angular na posição do observador for maior que $\theta_R = 1.22\lambda/d$, onde λ é o comprimento de onda da luz e d é o diâmetro da abertura (do olho ou espelho). Se L for a distância do observador aos objetos, então a menor separação y que eles podem ter e ainda ser resolvidos é $y = L\tan\theta_R \approx L\theta_R$, onde θ_R é medido em radianos. Portanto,

$$\begin{aligned} y = \frac{1.22L\lambda}{d} &= \frac{1.22(8\times 10^{10})(550\times 10^{-9})}{5\times 10^{-3}} \\ &= 1.1\times 10^7\ \text{m} = 1.1\times 10^4\ \text{km}. \end{aligned}$$

Esta distância é maior do que o diâmetro de Marte. Portanto, não é possível resolver-se totalmente a olho nu dois objetos diametralmente opostos sobre Marte.

(b) Agora $d = 5.1$ m e

$$y = \frac{1.22L\lambda}{d} = \frac{1.22(8\times 10^{10})(550\times 10^{-9})}{5.1}$$

$$= \quad 1.1 \times 10^4 \text{ m} = 11 \text{ km}.$$

Esta é a separação mínima entre objetos para que possam ser perfeitamente resolvidos com o telescópio.

E 37-20 (41-25/4^a edição)

O sistema de radar de um cruzador emite microondas com um comprimento de onda de 1.6 cm, usando uma antena circular com 2.3 m de diâmetro. À distância de 6.2 km, qual é a menor separação entre duas lanchas para que sejam detectadas como objetos distintos pelo radar?

►

$$\begin{aligned} y_{\text{min}} &= L\theta_R = L\Big(\frac{1.22\lambda}{d}\Big) \\ &= (6.2\times 10^3)\frac{1.22(1.6\times 10^{-2})}{2.3} = 53 \text{ m}. \end{aligned}$$

P 37-22 (41-29/4^a edição)

Em junho de 1985, a luz de um laser foi emitida da Estação Óptica da Força Aérea, em Maui, Havaí, e refletida pelo ônibus espacial *Discovery*, que estava em órbita a uma altitude de 354 km. De acordo com as notícias, o máximo central do feixe luminoso tinha um diâmetro de 9.1 m na posição do ônibus espacial e o comrpimento de onda da luz usada foi 500 nm. Qual o diâmetro efetivo da abertura do laser na estação de Maui? (*Sugestão*: O feixe de um laser só se espalha por causa da difração; suponha que a saída do laser tem uma abertura circular.)

► A equação que o primeiro mínimo de difração para aberturas circulares é

$$\text{sen}\,\theta = 1.22\,\frac{\lambda}{d}$$

onde λ é o comprimento de onda da luz e d é o diâmetro da abertura.
A largura y do máximo central é definida como a distância entre os *dois* primeiros mínimos. Portanto, temos

$$\tan\theta = \frac{y/2}{D},$$

onde D é a distância entre o laser e o ônibus espacial.
Como $\theta << 1$, podemos aproximar $\tan\theta \approx \text{ sen}\,\theta \approx \theta$ o que nos fornece

$$\frac{y/2}{D} = 1.22\,\frac{\lambda}{d},$$

donde tiramos

$$\begin{aligned} d &= 1.22\,\frac{\lambda D}{y/2} \\ &= 1.22\,\frac{(500\times 10^{-9})(354\times 10^3)}{9.1/2} = 4.7 \text{ cm}. \end{aligned}$$

37.5 Difração por duas fendas

E 37-27 (41-35/4^a edição)

A envoltória central de difração de uma figura de difração por duas fendas contém 11 franjas claras e os primeiros mínimos de difração eliminam (coincidem com) franjas claras. Quantas franjas de interferência existem entre o primeiro e o segundo mínimos da envoltória?

► Franjas claras de interferência ocorrem para ângulos θ dados por $a\,\text{sen}\;\theta = m\lambda$, onde d é a separação das fendas, λ é o comprimento de onda, e m é um inteiro. Para as fendas deste problema $d = 11a/2$, de modo que $a\,\text{sen}\;\theta = 2m\lambda/11$.
O primeiro mínimo do padrão de difração ocorre num ângulo θ_1 dado por $a\,\text{sen}\;\theta_1 = \lambda$ e o segundo ocorre para um ângulo θ_2 dado por $a\,\text{sen}\;\theta_2 = 2\lambda$, onde a é a largura da fenda.
Desejamos contar os valores de m para os quais $\theta_1 < \theta < \theta_2$ ou, o que é a mesma coisa, os valores de m para os quais $\text{sen}\;\theta_1 < \text{sen}\;\theta < \text{sen}\;\theta_2$. Isto implica termos

$$1 < \frac{2m}{11} < 2,$$

que é satisfeita para

$$m = 6, 7, 8, 9, 10,$$

fornecendo-nos um total de **cinco** franjas claras.

P 37-31 (41-40/4^a edição)

(a) Quantas franjas claras aparecem entre os primeiros mínimos da envoltória de difração à direita e à esquerda do máximo central em uma figura de difração de duas fendas se $\lambda = 550$ nm, $d = 0.15$ mm e $a = 30$ μm? (b) Qual é a razão entre as intensidades da terceira franja clara e da franja central?

► **(a)** A posição angular θ das franjas claras de interferência é dada por $d\;\text{sen}\;\theta = m\lambda$, onde d é a separação das fendas, λ é o comprimento de onda, e m é um inteiro.

O primeiro mínimo de difração ocorre para um ângulo θ_1 dado por $a\,\text{sen}\ \theta_1 = \lambda$, onde a é a largura da fenda. O pico de difração extende-se de $-\theta_1$ até $+\theta_1$, de modo que precisamos determinar o número de valores de m para os quais $-\theta_1 < \theta < +\theta_1$ ou, o que é a mesma coisa, o número de valores de m para os quais $-\text{sen}\ \theta_1 < \text{sen}\ \theta < +\text{sen}\ \theta_1$.

Esta última relação significa termos $-1/a < m/d < 1/a$, ou seja,

$$-\frac{d}{a} < m < \frac{d}{a},$$

onde

$$\frac{d}{a} = \frac{0.15 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}} = 5.$$

Portanto, os valores possíveis de m são

$$m = -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4,$$

perfazendo um total de **nove franjas**.

(b) A intensidade na tela é dada por

$$I = I_m \left(\cos^2 \beta\right) \left(\frac{\text{sen}\ \alpha}{\alpha}\right)^2,$$

onde

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda}\ \text{sen}\ \theta, \qquad \beta = \frac{\pi d}{\lambda}\ \text{sen}\ \theta,$$

e I_m é a intensidade no centro do padrão.

Para a terceira franja clara de interferência temos $d\,\text{sen}\ \theta = 3\lambda$, de modo que $\beta = 3\pi$ rad e $\cos^2\beta = 1$. Analogamente, $\alpha = 3\pi a/d = 3\pi/5 = 0.6\pi$ rad, de modo que

$$\frac{I}{I_m} = \left(\frac{\text{sen}\ \alpha}{\alpha}\right)^2 = \left(\frac{\text{sen}\ 0.6\pi}{0.6\pi}\right)^2 = 0.255.$$

P 37-32 (41-41/4^a edição)

Uma luz de comprimento de onda de 440 nm passa por duas fendas, produzindo uma figura de difração cujo gráfico de intensidade I em função da posição angular θ aparece na Fig. 37.36. Calcule (a) a largura das fendas e (b) a distância entre as fendas. (c) Calcule as intensidades das franjas de interferência com $m = 1$ e $m = 2$ e compare os resultados com os que aparecem na figura.

► **(a)** Da figura vemos que o primeiro mínimo do padrão de difração ocorre para 5^o, de modo que

$$a = \frac{\lambda}{\text{sen}\,\theta} = \frac{0.440\ \mu\text{m}}{\text{sen}\,5^o} = 5.05\ \mu\text{m}.$$

(b) Da figura vemos também que a quarta franja clara está ausente e, portanto,

$$d = 4a = 4(5.05\ \mu\text{m}) = 20.2\ \mu\text{m}.$$

(c) Para a franja clara com $m = 1$ temos $\theta = 1.25^o$ (veja a figura), e a Eq. 37.18 nos diz que

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\pi a}{\lambda}\,\text{sen}\,\theta = \frac{\pi(5.05)}{0.44}\,\text{sen}\,1.25^o = 0.787\ \text{rad}, \\ \beta &= \frac{\pi d}{\lambda}\,\text{sen}\,\theta = \frac{\pi(20.2)}{0.44}\,\text{sen}\,1.25^o = 3.1463\ \text{rad}. \end{aligned}$$

NOTE: para *máximos* sempre teremos $(\cos\beta)^2 = 1$ pois então $d\,\text{sen}\,\theta = m\lambda$, de modo que $\beta = m\pi$, isto é, $\cos\beta = (-1)^m$ e, portanto, $(\cos\beta)^2 = 1$ qualquer que seja o valor de m. Na verdade, poderíamos usar o fato que $(\cos\beta)^2 = 1$ para determinar com precisão no gráfico o valor de θ onde ocorrem os máximos de intensidade. Perceba que acima obtivemos $\beta = 3.1463$ em vez de $\beta = \pi = 3.1415$ por havermos usado $\theta = 1.25^o$ em vez do valor *exato* da posição do máximo no gráfico.

Da figura vemos que a intensidade I_m do *máximo* central vale $I_m = 7$ mW/cm^2, de modo que a intensidade I da franja com $m = 1$ é dada por

$$\begin{aligned} I = I_m(\cos^2\beta)\left(\frac{\text{sen}\,\alpha}{\alpha}\right)^2 &= (7)(1)\left(\frac{\text{sen}\,0.787}{0.787}\right)^2 \\ &= 5.7\ \text{mW/cm}^2, \end{aligned}$$

que concorda com o que a Fig. 37.36 mostra.

Analogamente, para $m = 2$ a figura nos diz que $\theta = 2.5^o$, de modo que $\alpha = 1.573$, $[\beta = 6.2911, \cos\beta = 1]$ e $I = 2.83$ mW/cm^2, também de acordo com a Fig. 37.36.

37.6 Redes de difração

E 37-33 (41-43/4^a edição)

Uma rede de difração com 20 mm de largura possui 6000 ranhuras. (a) Calcule a distância d entre ranhuras vizinhas. (b) Para que ângulos θ ocorrerão máximos de intensidade em uma tela de observação se a radiação incidente na rede de difração tiver um comprimento de onda de 589 nm?

► **(a)**

$$d = \frac{20}{6000} = 0.00333\ \text{mm} = 3.33\ \mu\text{m}.$$

(b) Para determinar as posições dos máximos de intensidade usamos a fórmula d sen $\theta = m\lambda$, determinando todos os valores de m que produzem valores de $|m|\lambda/d < 1$. Explicitamente, encontramos

$$\begin{aligned}
\text{para } m = 0: &\quad \theta = 0^o \\
\text{para } m = 1: &\quad \theta = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm\lambda}{d} \\
&\quad\;\; = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm 0.589}{3.3} = \pm 10.2^o \\
\text{para } m = 2: &\quad \theta = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm 2(0.589)}{3.3} = \pm 20.7^o \\
\text{para } m = 3: &\quad \theta = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm 3(0.589)}{3.3} = \pm 32.2^o \\
\text{para } m = 4: &\quad \theta = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm 4(0.589)}{3.3} = \pm 45^o \\
\text{para } m = 5: &\quad \theta = \text{ sen}^{-1}\frac{\pm 5(0.589)}{3.3} = \pm 62.2^o
\end{aligned}$$

Para $m = 6$ obtemos $|m|\lambda/d > 1$, indicando que os máximos acima são todos os possíveis.

E 37-37 (41-49/4^a edição)

Uma luz de comprimento de onda de 600 nm incide normalmente (perpendicularmente!!) em uma rede de difração. Dois máximos de difração são observados em ângulos dados por sen $\theta = 0.2$ e sen $\theta = 0.3$. Os máximos de quarta ordem estão ausentes. (a) Qual é a distância entre ranhuras vizinhas? (b) Qual é a menor largura possível desta rede de difração? (c) Que ordens de máximos de intensidade são produzidas pela rede, supondo que os parâmetros da rede sejam os calculados nos itens (a) e (b)?

► **(a)** Os máximos de um padrão de interferência de duas fendas ocorrem para ângulos θ dados por d sen $\theta = m\lambda$, onde d é a separação das fendas, λ o comprimento de onda, e m em inteiro. As duas linhas são adjacentes, de modo que suas ordens diferem de uma unidade. Seja m a ordem da linha com sen $\theta = 0.2$ e $m + 1$ a ordem da linha com sen $\theta = 0.3$. Então $0.2d = m\lambda$ e $0.3d = (m + 1)\lambda$. Subtraindo ambas equações encontramos $0.1d = \lambda$, ou

$$d = \frac{\lambda}{0.1} = \frac{600 \times 10^{-9}}{0.1} = 6\ \mu\text{m}.$$

(b) Mínimos de um padrão de difração por fenda única ocorrem para ângulos dados por a sen $\theta = m\lambda$, onde a é a largura da fenda. Como o máximo de interferência de quarta ordem encontra-se ausente, ele deve cair num destes ângulos.Se a é a menor largura da fenda para a qual esta ordem esta ausente, o ângulo deve ser dado por a sen $\theta = \lambda$, sendo também dada por d sen $\theta = 4\lambda$, de modo que

$$a = \frac{d}{4} = \frac{6 \times 10^{-6}}{4} = 1.5\ \mu\text{m}.$$

(c) Primeiro, coloque $\theta = 90^o$ para encontrar o maior valor de m para o qual $m\lambda < d$ sen θ. Esta é a maior ordem difratada na tela. A condição equivale a $m < d/\lambda$ e como $d/\lambda = (6 \times 10^{-6})/(600 \times 10^{-9}) = 10$, a ordem mais alta que se pode ver é $m = 9$. A quarta e a oitava ordem estão ausentes, de modo que as ordens observáveis são os ordens

$$m = 0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9.$$

37.7 Redes de difração: dispersão e resolução

E 37-47 (41-62/4^a edição)

Uma fonte contendo uma mistura de átomos de hidrogênio e deutério emite luz vermelha com dois comprimentos de onda cuja média é 656.3 nm e cuja separação é 0.18 nm. Determine o número mínimo de ranhuras necessárias para que uma rede de difração possa resolver estas linhas em primeira ordem.

► Se a grade apenas consegue resolver dois comprimentos de onda cuja média é λ e cuja separação é $\Delta\lambda$, então seu poder de resolução é definido (veja Eq. 37.28) como sendo $R = \lambda/\Delta\lambda$. Sabemos (Eq. 37.29) que $R = Nm$, onde N é a quantidade de ranhuras e m é a ordem das linhas. Portanto $\lambda/\Delta\lambda = Nm$, donde tiramos

$$N = \frac{\lambda}{m\Delta\lambda} = \frac{656.3}{(1)(0.18)} = 3650 \text{ ranhuras}.$$

E 37-48 (41-61/4^a edição)

Uma rede de difração tem 600 ranhuras/mm e 5 mm de largura. (a) Qual é o menor intervalo de comprimentos de onda que a rede é capaz de resolver em terceira ordem para $\lambda = 500$ nm? (b) Quantas ordens acima da terceira podem ser observadas?

► **(a)** Usando o fato que $\lambda/\Delta\lambda = Nm$, obtemos

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{Nm} = \frac{500 \times 10^{-9}}{(3)(600)(5)} = 55.5 \times 10^{-12} \text{ m}.$$

(b) A posição dos máximos numa rede de difração é definida pela fórmula

$$d \text{ sen } \theta = m\lambda,$$

de onde obtemos que

$$\text{sen } \theta = \frac{m\lambda}{d}.$$

Não observarmos difração de ordem m equivale a dizer que para tal m obtemos $\theta = 90^o$, ou seja, que temos

$$\text{sen } 90^0 = 1 \approx \frac{m_{\text{max}}\lambda}{d}.$$

Isolando-se m_{max}, e substituindo os dados do problema em questão encontramos que

$$m_{\text{max}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{10^{-3}/600}{500 \times 10^{-9}} = 3.3.$$

Tal resultado nos diz que a maior ordem observável com tal grade é a terceira, pois esta é a última ordem que produz um valor fisicamente significativo de θ.
Portanto, não se pode observar **nenhuma** ordem superior à terceira com tal grade.

37.8 Difração de raios-X

E 37-53 (41-70/4^a edição)

Raios X de comprimento de onda de 0.12 nm sofrem reflexão de segunda ordem em um cristal de fluoreto de lítio para um ângulo de Bragg de 28^o. Qual é a distância interplanar dos planos cristalinos responsáveis pela reflexão?

► A lei de Bragg fornece a condição de máximo, Eq. 37.31, como sendo

$$2d \text{ sen } \theta = m\lambda,$$

onde d é o espaçamento dos planos do cristal e λ é o comprimento de onda. O ângulo é medido a partir da normal aos planos. Para reflexão de segunda ordem usamos $m = 2$, encontrando

$$d = \frac{m\lambda}{2 \text{ sen } \theta} = \frac{(2)(0.12 \times 10^{-9})}{2 \text{ sen } 28^o} = 0.26 \text{ nm}.$$

P 37-60 (41-80/4^a edição)

Na Fig. 37.40, um feixe de raios X de comprimento de onda 0.125 nm incide em um cristal de NaCl a 45^o com a face superior do cristal e com uma família de planos refletores. O espaçamento entre os planos refletores é de $d = 0.252$ nm. De que ângulo o cristal deve ser girado em torno de um eixo perpendicularmente ao eixo do papel para que estes planos refletores produzam máximos de intensidade em suas reflexões?

► Os ângulos de incidência que correspondem à intesidade máxima do feixe de luz refletida satisfazem $2d$ sen $\theta = m\lambda$, ou

$$\text{sen } \theta = \frac{m\lambda}{2d} = \frac{m(0.125)}{2(0.252)} = \frac{m}{4.032}\ .$$

Como é preciso ter $|$ sen $\theta \,| < 1$, vemos que os valores permitidos de m são

$$m = 1, 2, 3, 4,$$

aos quais correspondem os ângulos

$$\theta = 14.4^o, 29.7^o, 48.1^o, 82.8^o.$$

Portanto o cristal deve ser girado no

$$\begin{aligned} \text{sentido anti-horário de :} \quad & 48.1^o - 45^o = 3.1^o, \\ & 82.8^o - 45^o = 37.8^o, \\ \text{sentido horário de :} \quad & 45^o - 14.4^o = 30.6^o, \\ & 45^o - 29.7^o = 15.3^o. \end{aligned}$$