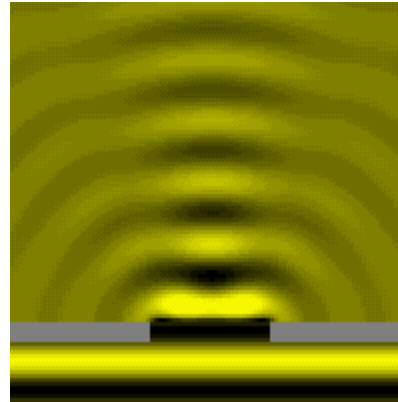


Dyfrakcja



Dyfrakcja

Dyfrakcja to „uginanie” światła (albo innych fal) przez drobne obiekty (rozmiar porównywalny z długością fali) do obszaru cienia



uginanie na szczelinie

Light Diffraction by a Razor Blade

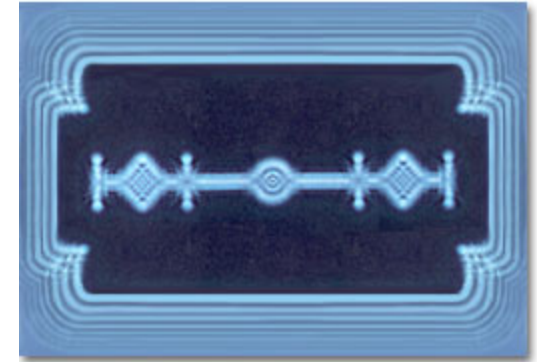
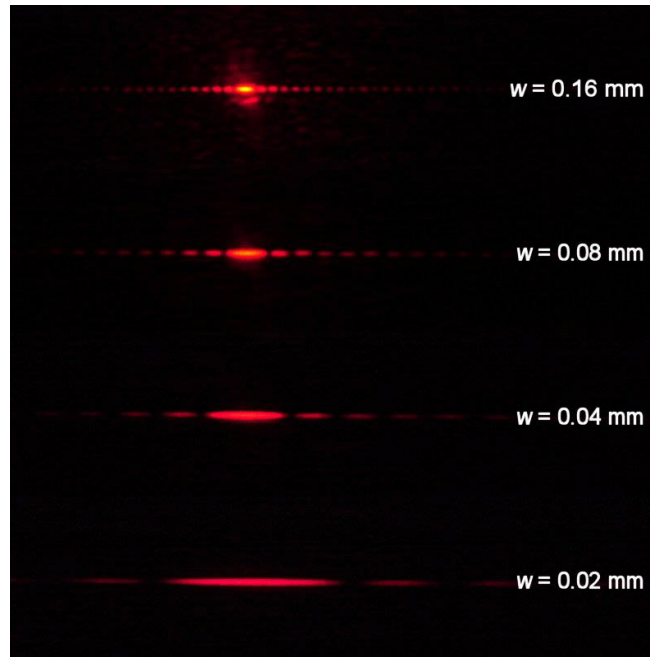
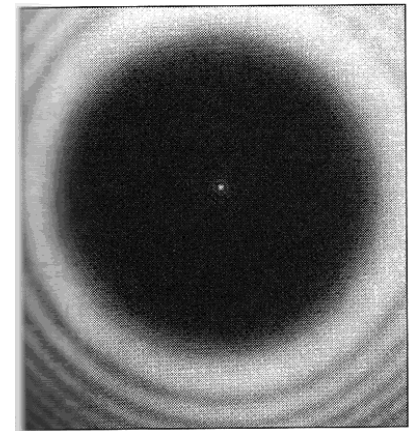


Figure 2

uginanie na krawędziach przedmiotów

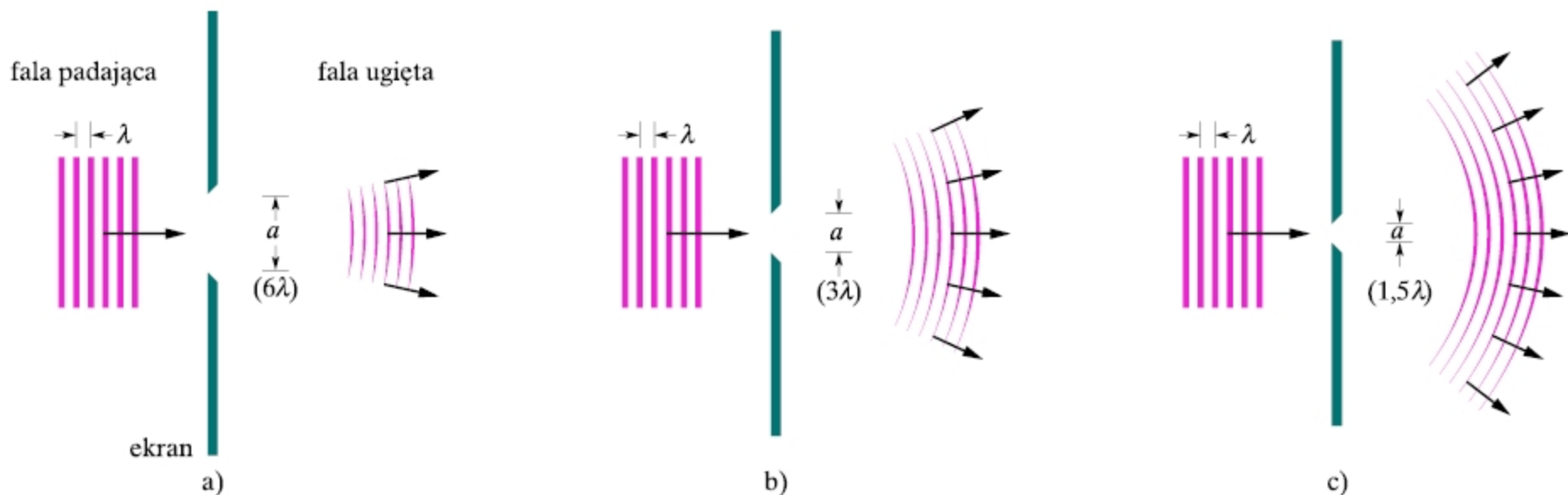


światło lasera po przejściu przez wąską szczelinę (o zmiennej grubości)

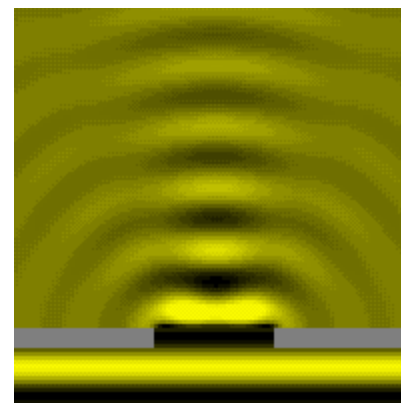


„Kropka” Fresnela – uginanie na dysku o małej średnicy

Dyfrakcja

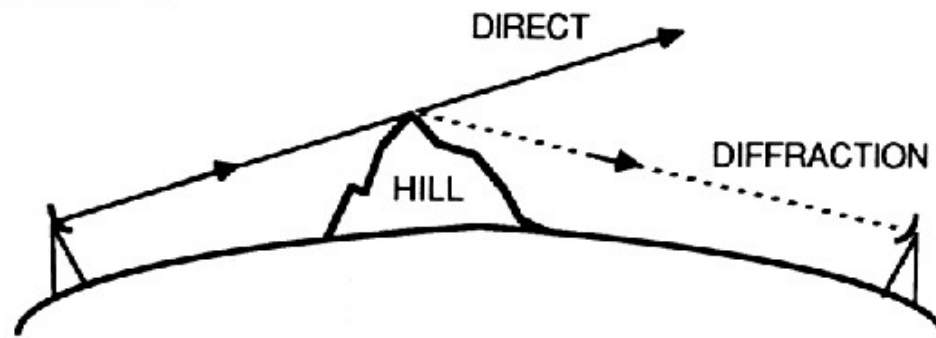


Rys. 36.5. Schematyczne zobrazowanie zjawiska dyfrakcji. Dla danej długości fali λ dyfrakcja jest tym wyraźniejsza, im mniejsza jest szerokość a szczeliny. Na kolejnych rysunkach szczelina ma szerokość: a) $a = 6\lambda$, b) $a = 3\lambda$ i c) $a = 1,5\lambda$. We wszystkich trzech przypadkach ekran przesłaniający i długość szczeliny rozciągają się nad i pod powierzchnią kartki, prostopadłe do niej

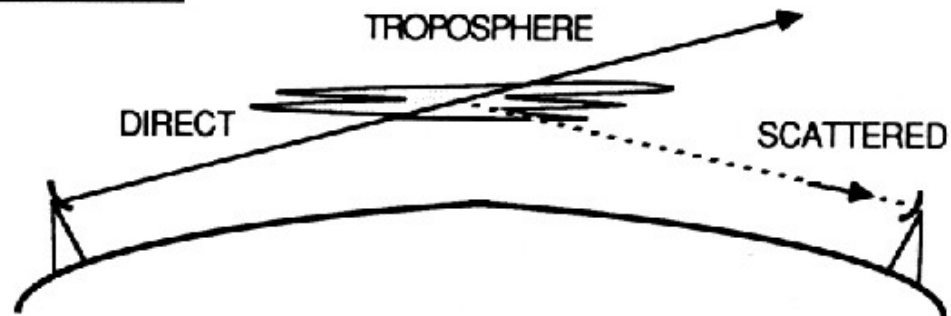


Dyfrakcja fal radiowych

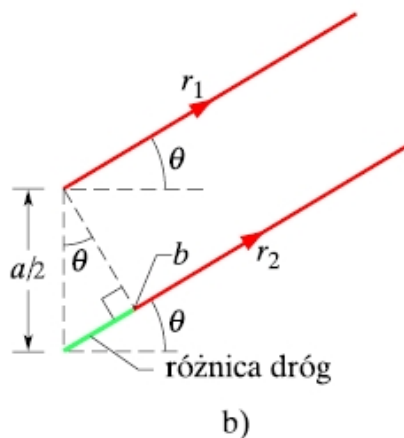
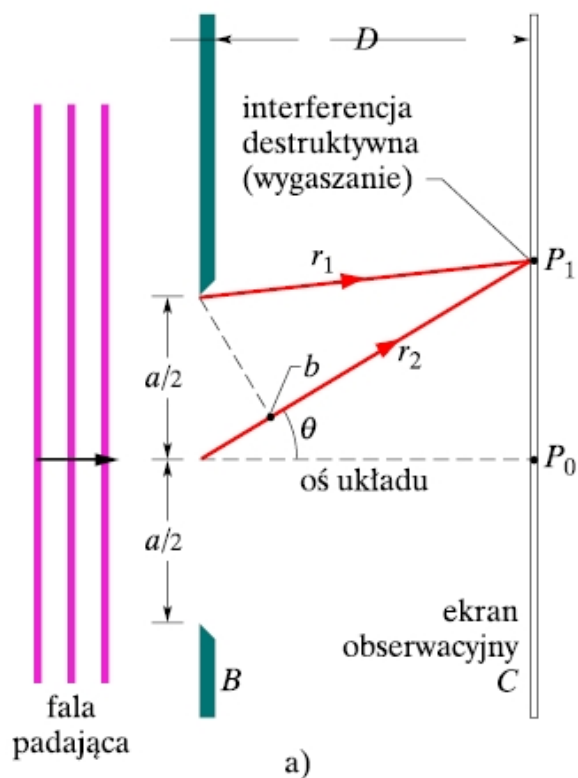
DIFFRACTION



TROPOSCATTER

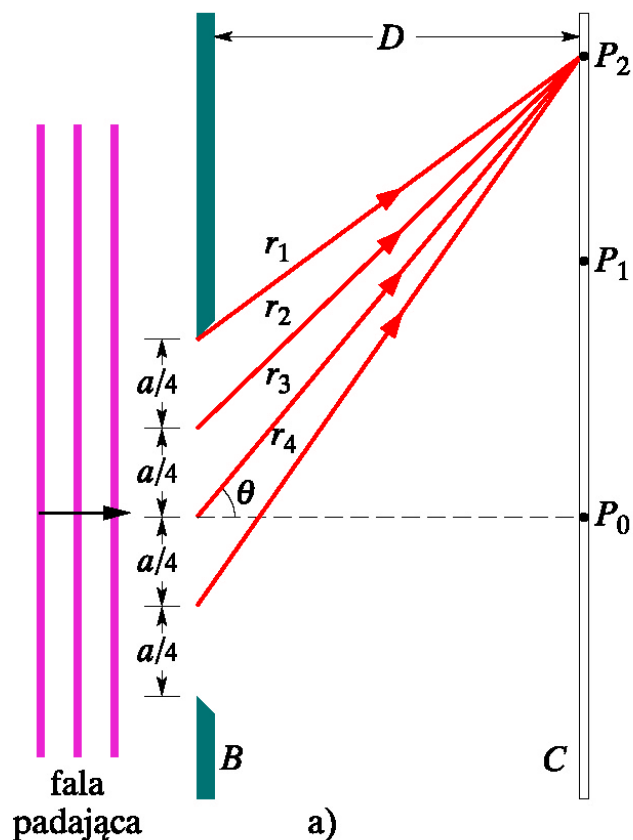


Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie

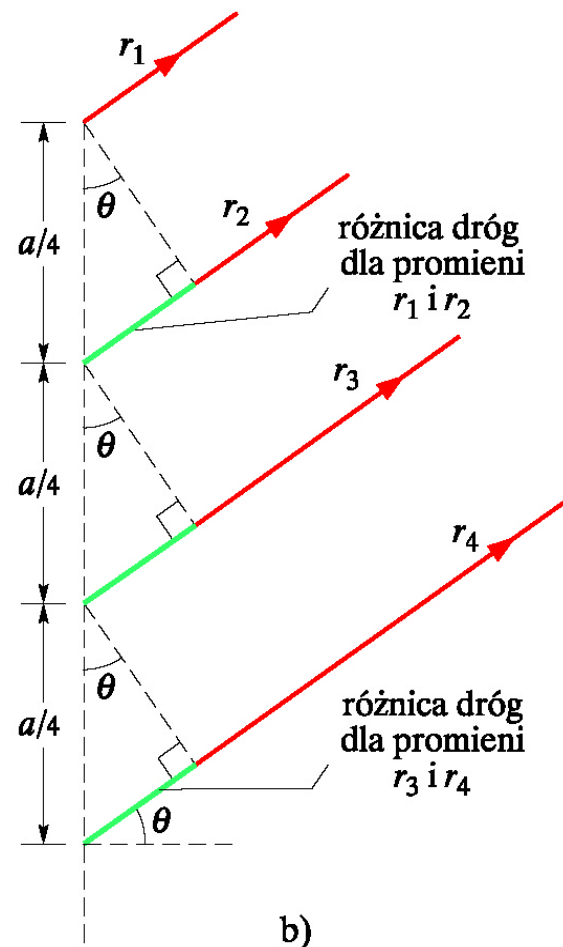


Rys. 37.4. a) Interferencja fal ze skrajnych górnych punktów dwóch stref o szerokości $a/2$ w punkcie P_1 na ekranie obserwacyjnym C jest w pełni destruktywna. b) Dla $D \gg a$ promienie świetlne r_1 i r_2 możemy traktować jak promienie równoległe, tworzące kąt θ z osią układu

- Szukamy pozycji minimów dyfrakcyjnych (wygaszenia)
- Dzielimy szczelinę na dwie części, analizujemy promienie wychodzące z górnych części szczeliny
- Różnica w przebytej drodze przez te dwa promienie musi być równa $= \lambda / 2$
- Podobnie każdy promień z górnej części szczeliny będzie się wygaszał z analogicznym promieniem z dolnej części



a)



b)

Rys. 37.5. a) Interferencja fal ze skrajnych górnych punktów czterech stref o szerokości $a/4$ jest w punkcie P_2 w pełni destruktywna. b) Dla $D \gg a$ możemy promienie świetlne r_1, r_2, r_3 i r_4 traktować jak promienie równoległe, tworzące kąt θ z osią układu

Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie

- Szukamy pozycji minimów dyfrakcyjnych (wygaszenia)
- Dzielimy szczelinę na dwie części, analizujemy promienie wychodzące z górnych części szczelin
- Różnica w przebytej drodze przez te dwa promienie musi być równa = $\lambda / 2$
- Do analizy kolejnych minimów potrzeba podzielić szczelinę na 4, 6, 8 itd. części
- Formuła na pojawienie się **m-tego** minimum jest zatem następująca

$$a \sin \theta = m\lambda$$

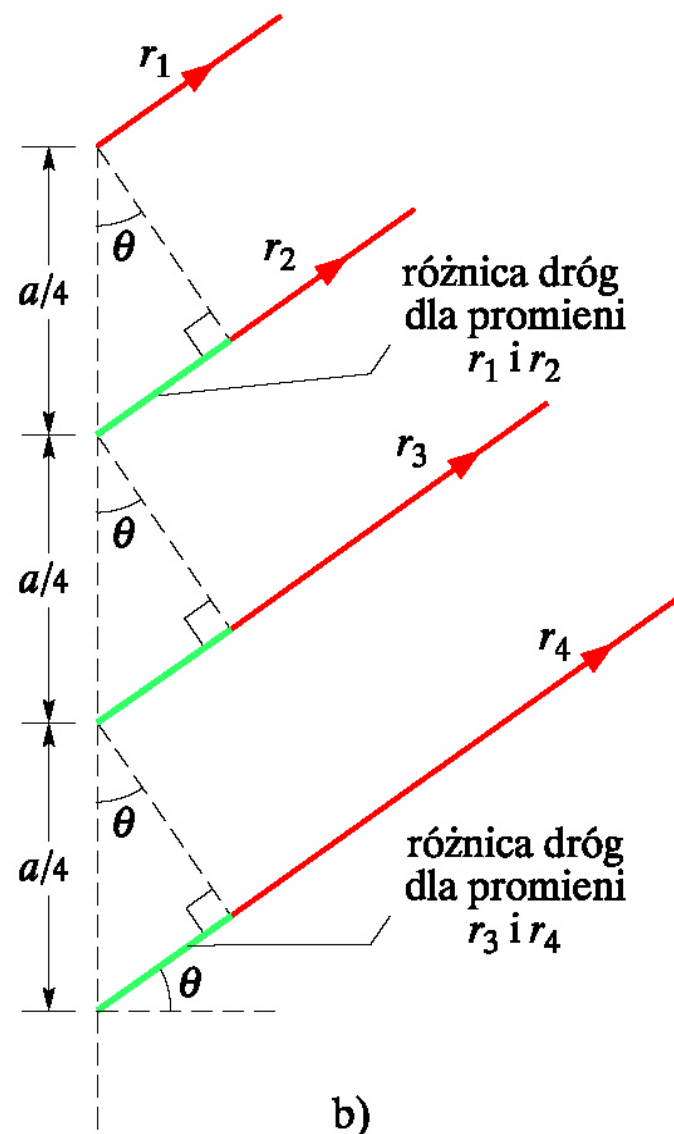
$$m = 1, 2, 3, \dots$$

$$\frac{a}{4} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

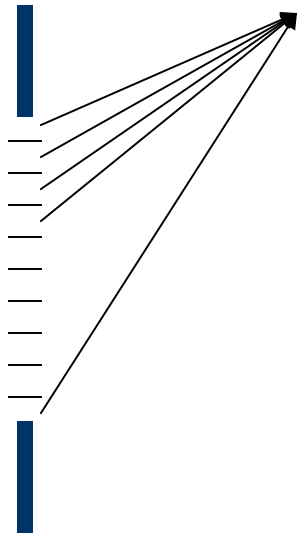
$$\frac{a}{6} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{a}{8} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

...



Intensywność fali po przejściu przez pojedynczą szczelinę



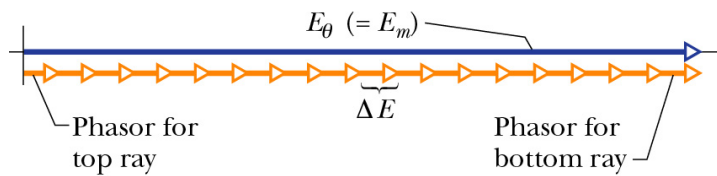
Różnica faz dla dwóch sąsiadujących promieni

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(\Delta x \sin \theta)$$

ϕ jest różnicą faz pomiędzy dwoma promieniami wychodzącymi z krańców szczeliny

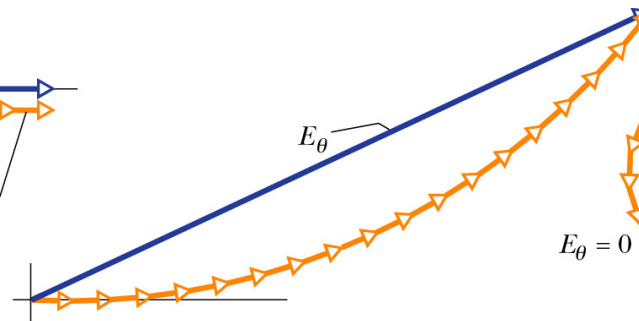
$$I(\theta) = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$



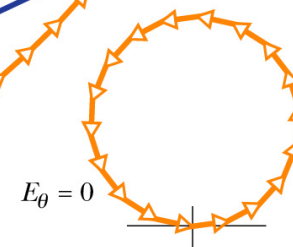
(a)

Centralne maksimum



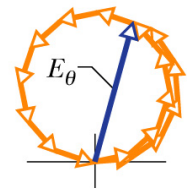
(b)

Natężenie przy małym kącie obserwacji



(c)

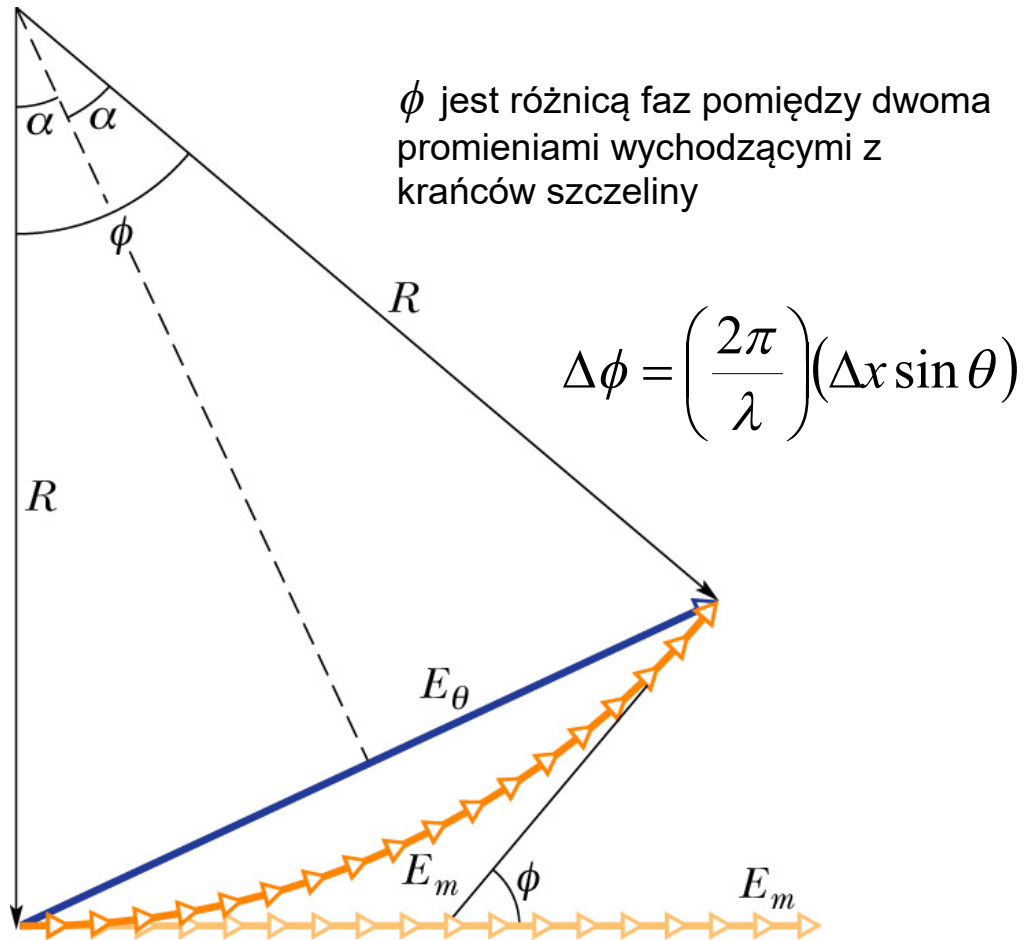
Pierwsze minimum



(d)

Dalsze kąty obserwacji

Intensywność fali po przejściu przez pojedynczą szczelinę



Z zależności geometrycznych:

$$E_{\theta} = 2R \sin\left(\frac{1}{2}\phi\right)$$

$$E_{\theta} = \frac{E_m}{\frac{1}{2}\phi} \sin\left(\frac{1}{2}\phi\right)$$

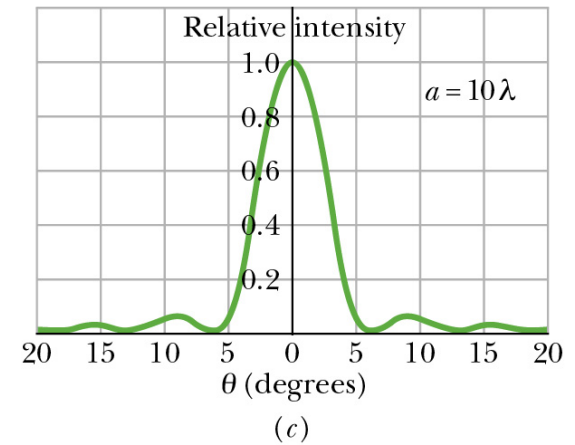
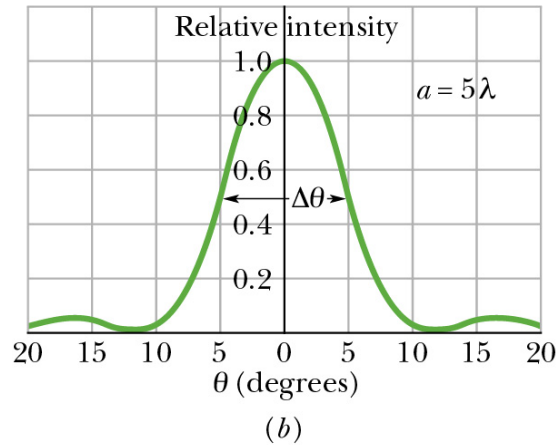
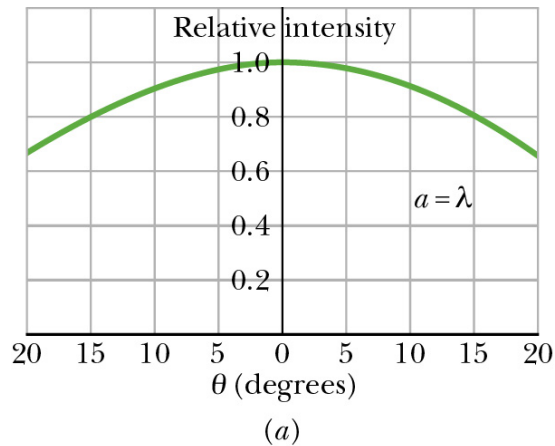
$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

$$I_{\theta} \propto E_{\theta}^2$$

$$I(\theta) = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

E_m jest równe amplitudzie w środku obrazu dyfrakcyjnego, odpowiada też długości rozpatrywanego łuku

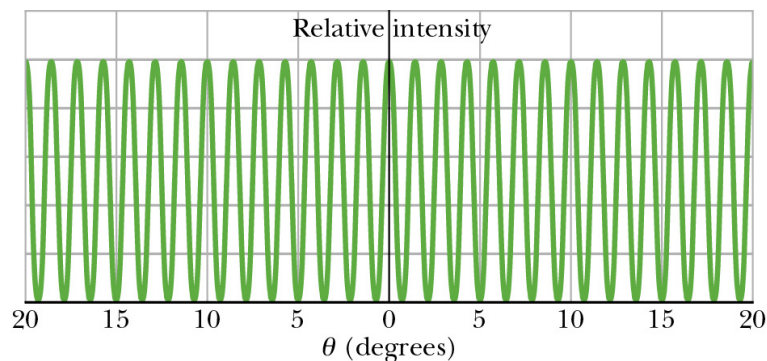
Intensywność fali po przejściu przez pojedynczą szczelinę



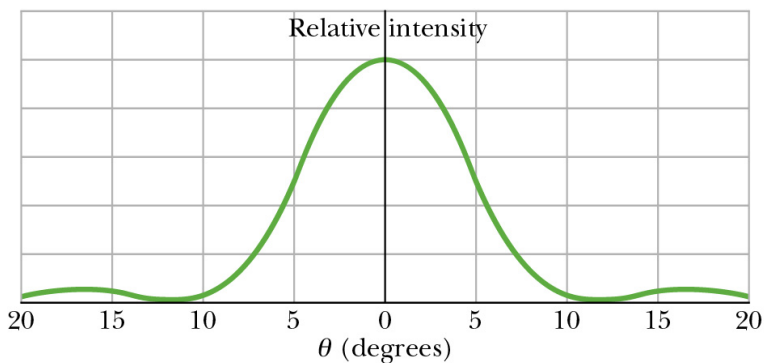
$$I(\theta) = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

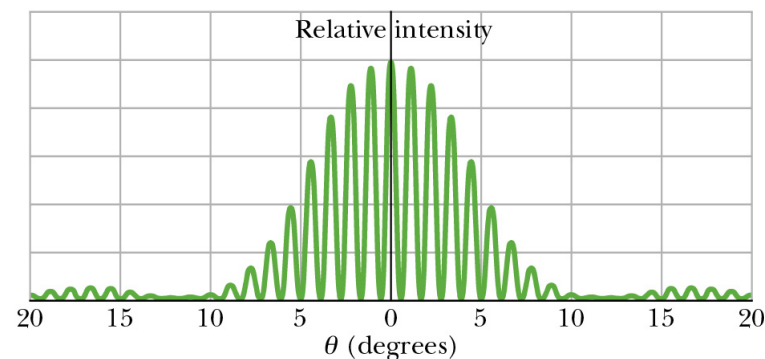
Dyfrakcja na podwójnej szczelinie



interferencja na podwójnej szczelinie



dyfrakcja na pojedynczej szczelnie

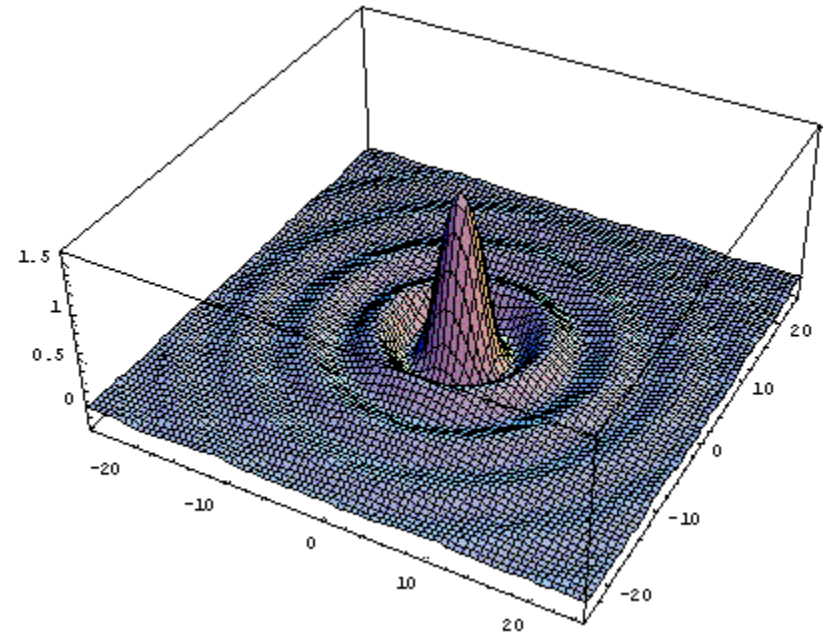
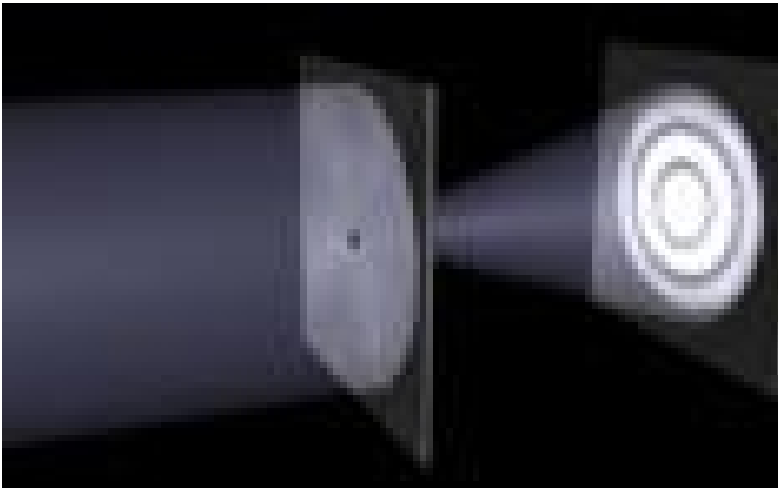


$$I(\theta) = I_m \left(\cos^2 \beta \right) \left[\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right]^2$$

$$\beta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

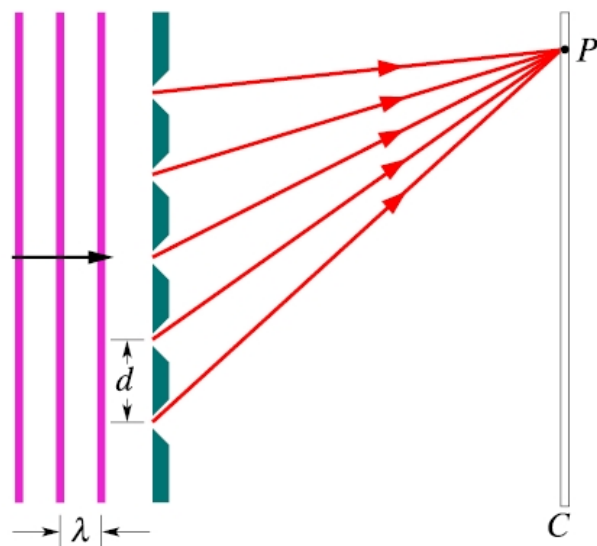
Dyfrakcja na małym otworze o promieniu a



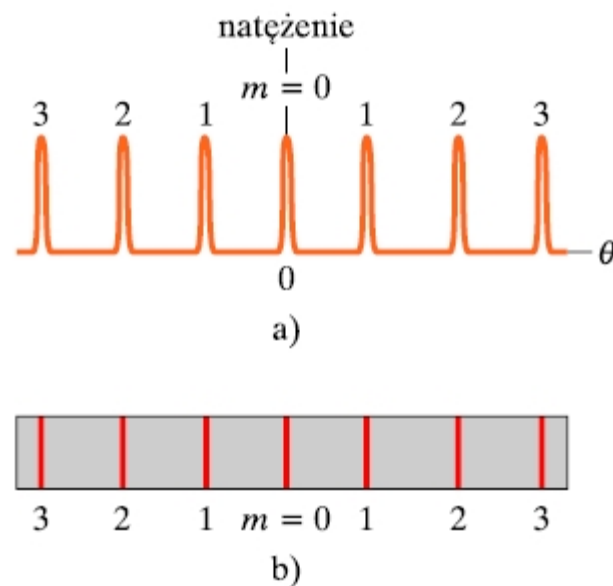
Położenie pierwszego minimum:

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{a}$$

Siatka dyfrakcyjna

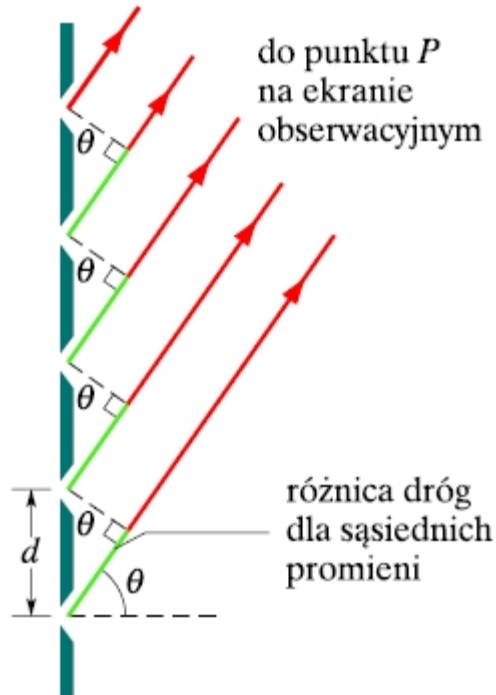


Rys. 37.16. Uproszczona siatka dyfrakcyjna, na którą składa się tylko pięć szczelin, wytwarza obraz interferencyjny na odległym ekranie obserwacyjnym C



Rys. 37.17. a) Wykres natężenia w obrazie wytwarzanym przez siatkę dyfrakcyjną o bardzo dużej liczbie szczelin składa się z wąskich linii, które tutaj oznaczone są odpowiadającymi im numerami rzędów m . b) Odpowiadające rysunkowi (a) jasne prążki obserwowane na ekranie nazywane są liniami. Oznaczone są one również numerami odpowiednich rzędów, a na rysunku pokazane są linie zerowego, pierwszego, drugiego i trzeciego rzędu

Siatka dyfrakcyjna



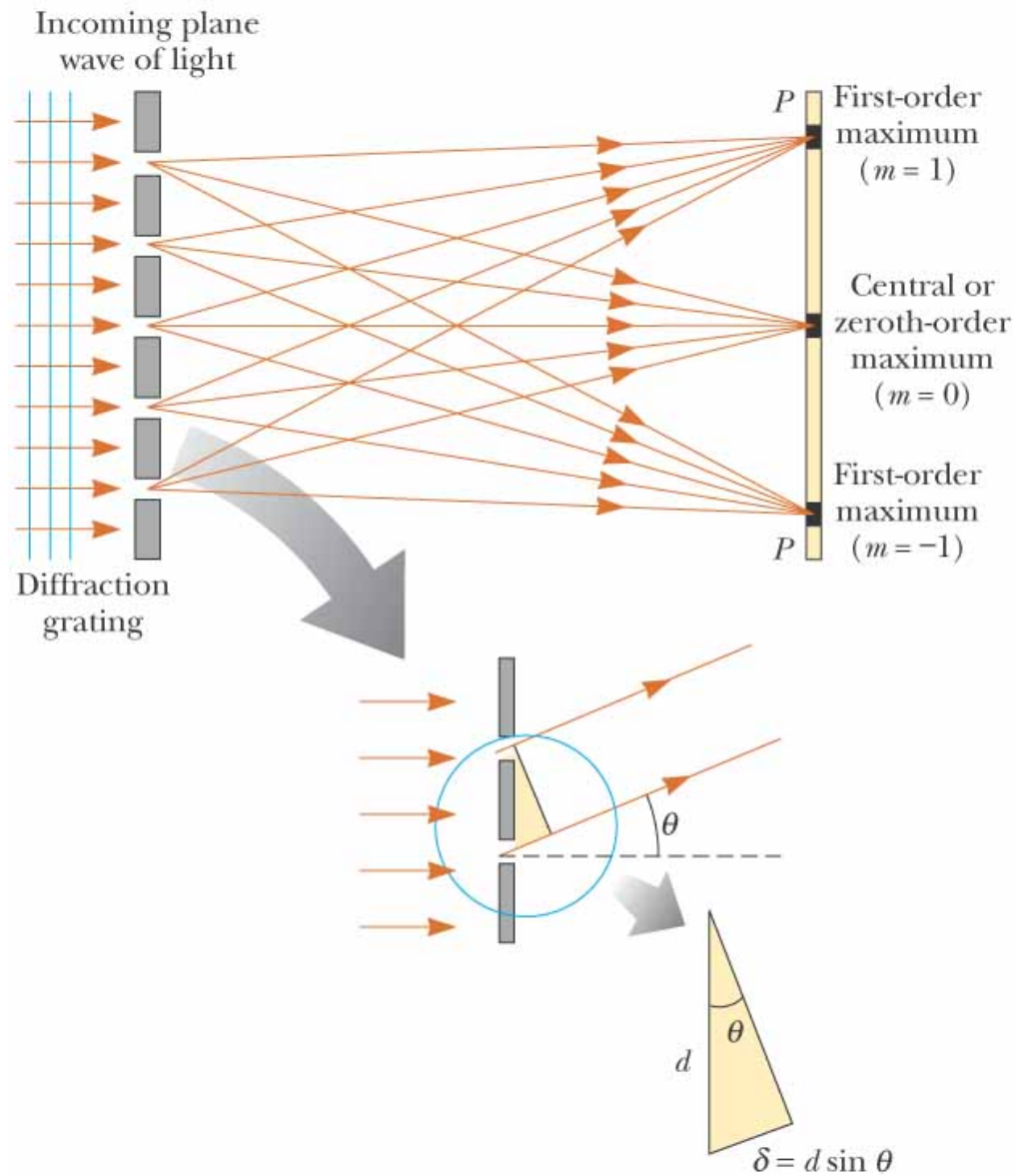
Rys. 37.18. Promienie świetlne wychodzące ze szczelin siatki dyfrakcyjnej i zmierzające w kierunku odległego punktu P tworzą wiązkę promieni w przybliżeniu równoległych. Różnica dróg dla każdej pary sąsiednich promieni jest równa $d \sin \theta$, gdzie kąt θ zdefiniowany jest tak jak na rysunku. (Szczeliny rozciągają się ponad i pod kartką)

Warunek maksimum interferencyjnych:

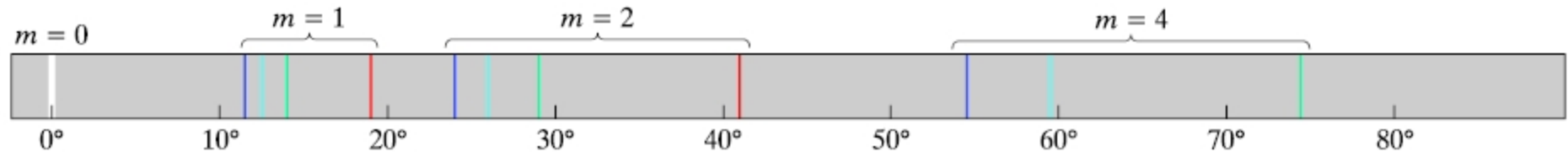
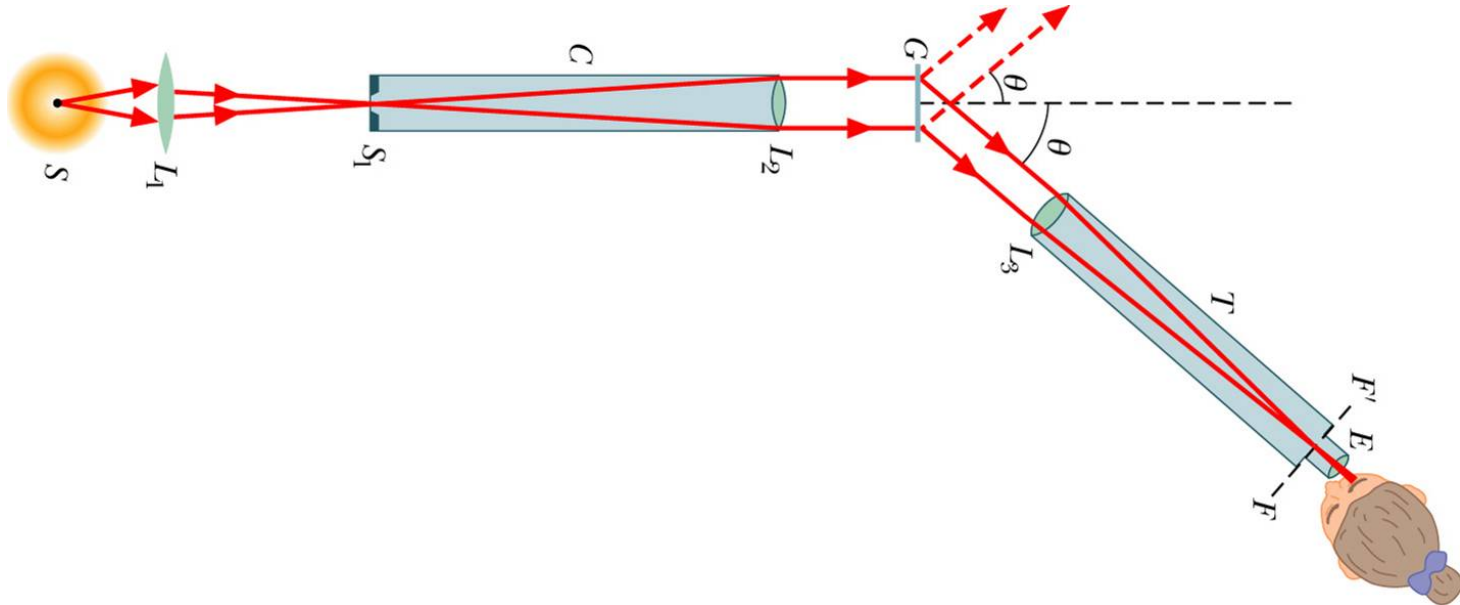
$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$m = 0, 1, 2, \dots$$

Siatka dyfrakcyjna



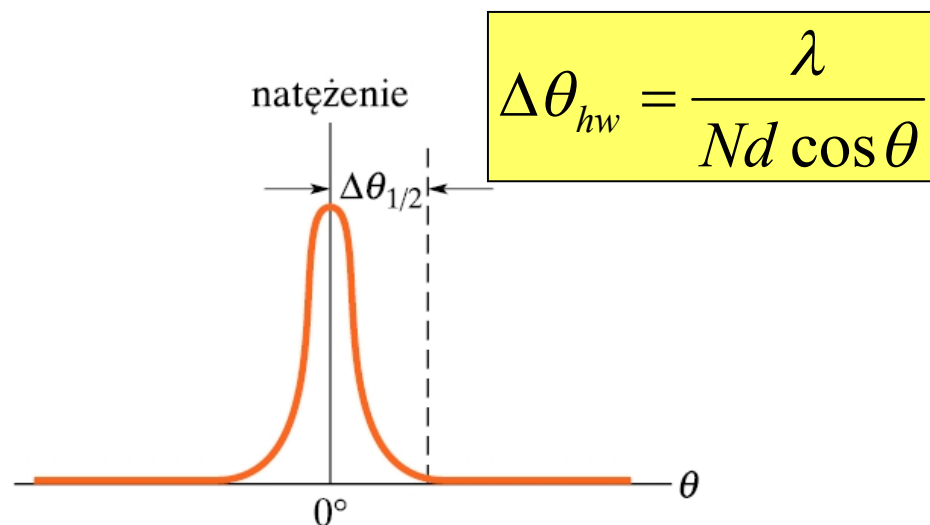
Spektrometr



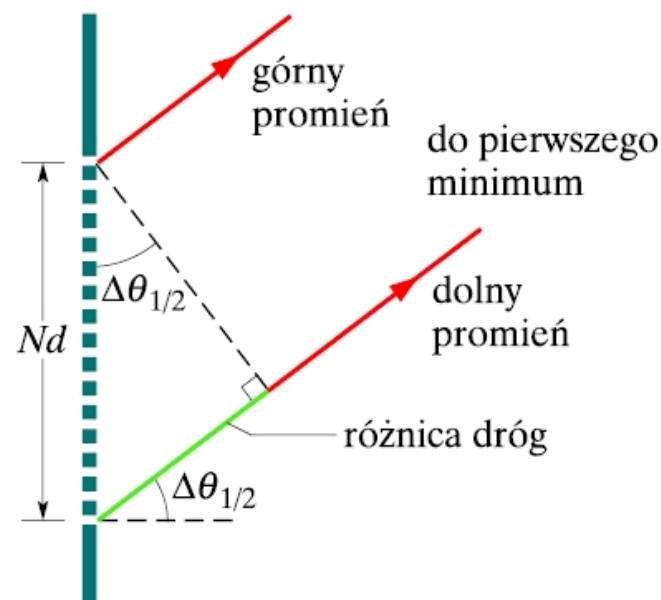
Rys. 37.22. Zerowy, pierwszy, drugi i czwarty rząd widna emisyjnego wodoru w zakresie widzialnym. Zauważ, że odległości między liniami wzrastają dla większych kątów ugięcia. (Linie stają się jednocześnie słabsze i szersze, czego nie pokazano na rysunku)

Siatka dyfrakcyjna

Szerokość połówkowa linii poszczególnych maksimów



Rys. 37.19. Na wykresie zależności natężenia I od położenia kąowego θ (takim jak na rysunku 37.17a) szerokość połówkowa $\Delta\theta_{1/2}$ linii centralnej jest mierzona od jej środka (od maksymalnej wartości natężenia) do sąsiedniego minimum



Rys. 37.20. Odległość między skrajnymi szczelinami (górną i dolną) siatki dyfrakcyjnej o N szczelinach wynosi Nd . Różnica długości dróg promieni świetlnych wychodzących z tych szczelin jest równa $Nd \sin(\Delta\theta_{1/2})$, gdzie $\Delta\theta_{1/2}$ jest położeniem kątowym pierwszego minimum. (Dla czytelności rysunku kąt ten został znacznie powiększony)

Wyznaczanie struktury ciał stałych metodami dyfrakcyjnymi

Trzy podstawowe techniki:

Dyfrakcja X-ray

na monokryształach
na polikryształach (metoda proszkowa)

Dyfrakcja elektronów

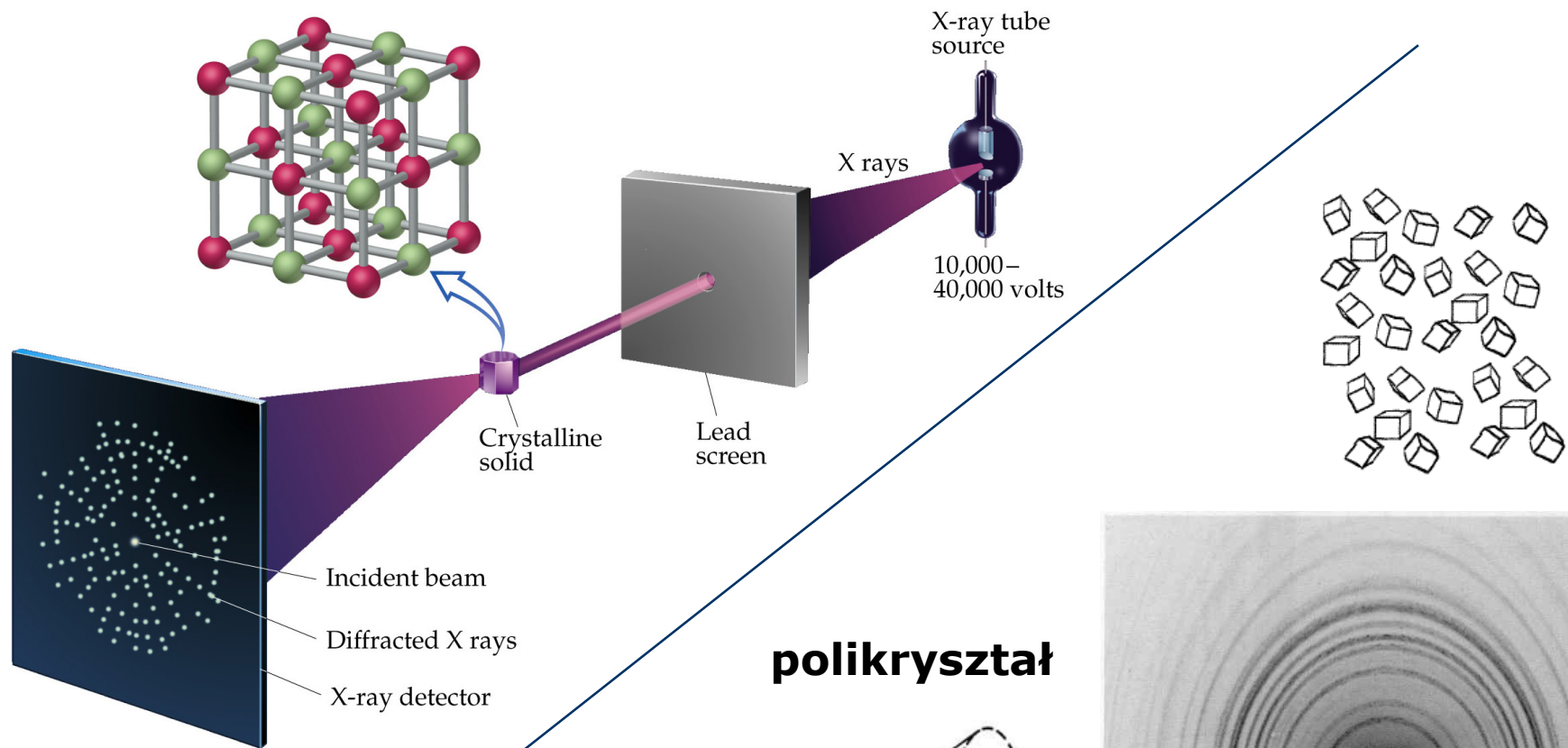
Dyfrakcja neutronów

Na czym polega dyfrakcja X na kryształach

Fale rentgenowskie (X-rays) przechodząc przez kryształ są uginane pod różnymi kątami: proces **dyfrakcji i interferencji**

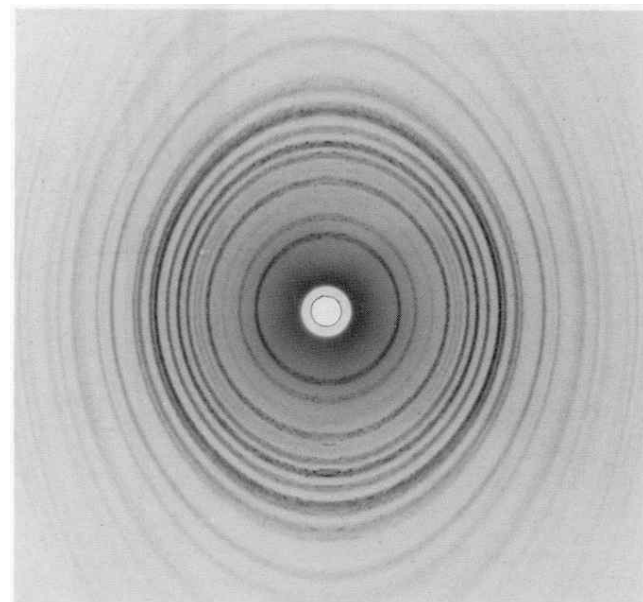
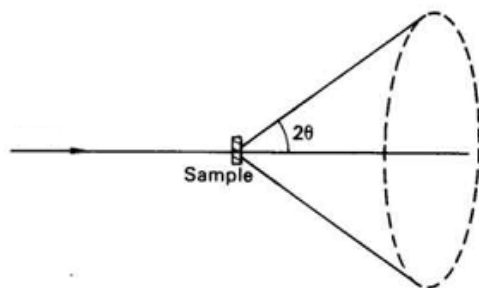
Fale rentgenowskie oddziałują z elektronami atomów kryształu, tzn. są rozpraszane przez chmury elektronów w atomach.

Kąty pod jakimi fale rentgenowskie są uginane zależą od odległości pomiędzy płaszczyznami wyznaczonymi przez atomy w kryształach. Fale uginane przez równoległe płaszczyzny ulegają wzmocnieniu gdy „są w fazie”. Wzmocnienie widoczne jest na kliszy w postaci kropek.

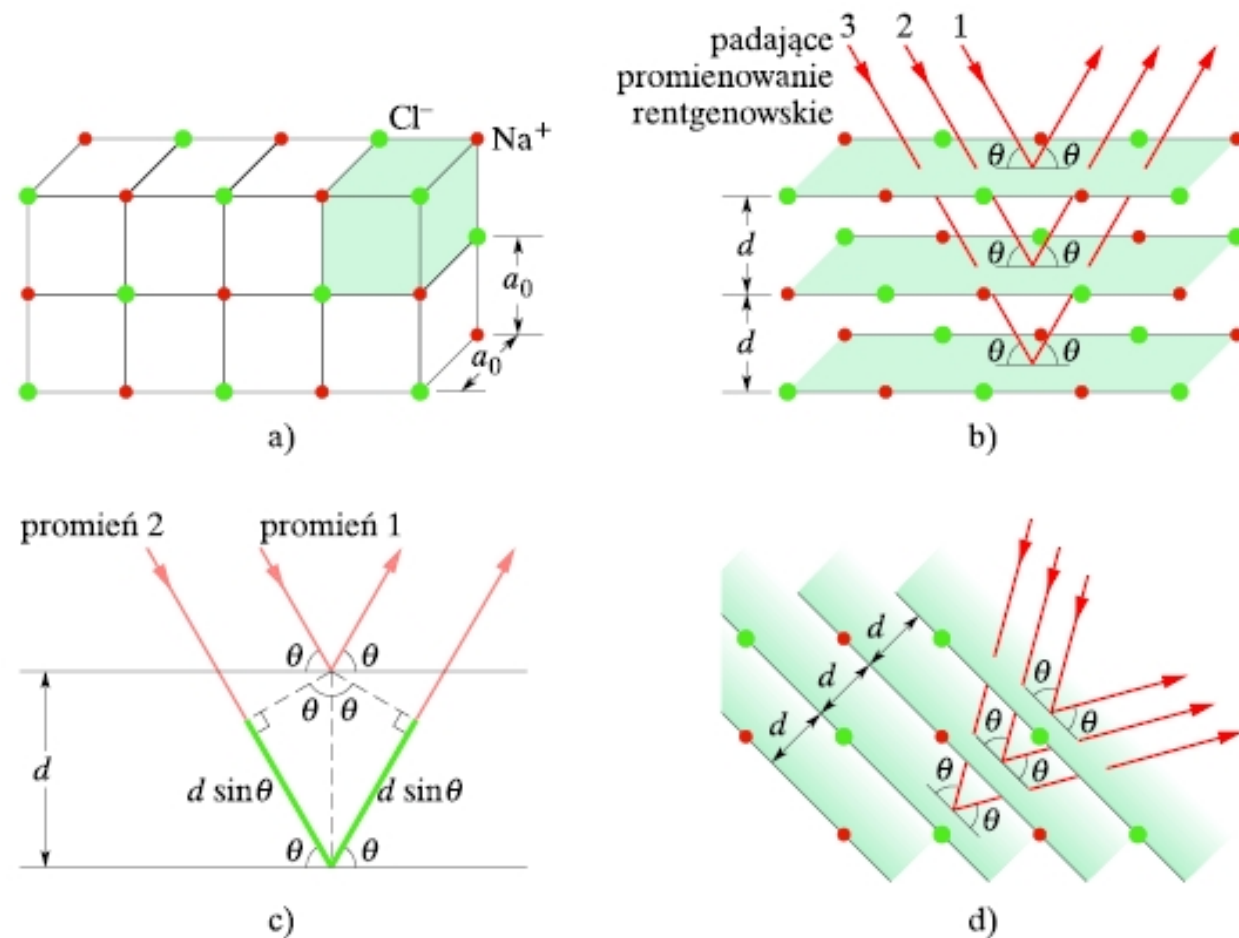


monokryształ

polikryształ

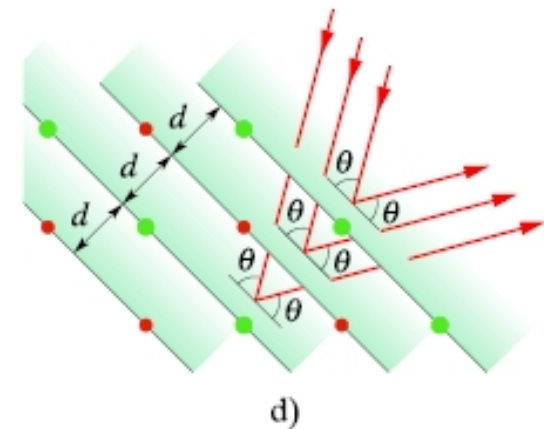
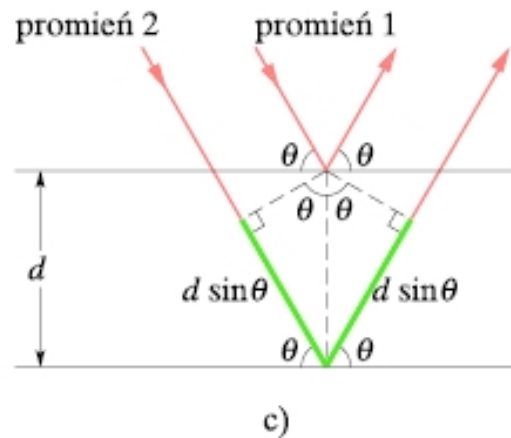
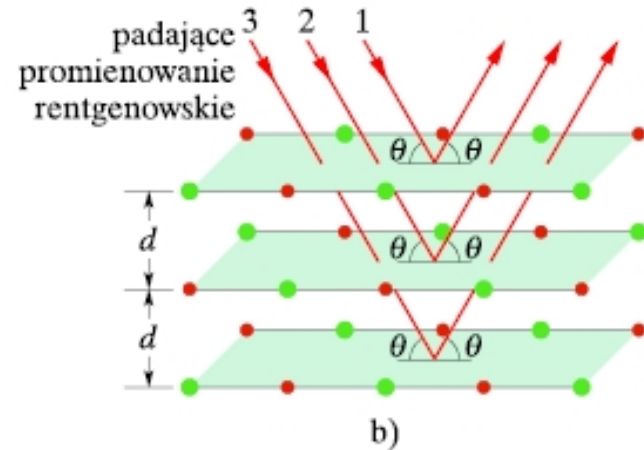
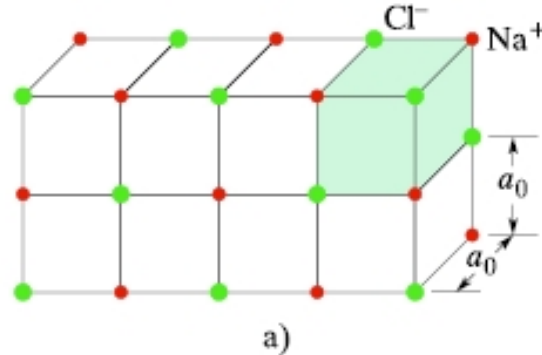


Dyfrakcja promieniowania X



Rys. 37.26. a) Sześcienna struktura kryształu NaCl z pokazanymi jonami sodu i chloru oraz komórką elementarną kryształu (zacięniowana). b) Padające promieniowanie rentgenowskie ulega dyfrakcji na strukturze (a). Ich ugięcie zachodzi tak, jak gdyby były odbijane od rodziny równoległych płaszczyzn, pod kątem odbicia równym kątowi ich padania (oba kąty są mierzone względem płaszczyzny, a nie jak w optyce względem normalnej do płaszczyzny odbijającej). c) Różnica dróg między falami efektywnie odbitymi przez dwie sąsiednie płaszczyzny jest $2d \sin \theta$. d) Inny kierunek promieniowania rentgenowskiego w stosunku do struktury. W takiej sytuacji efektywne odbicie promieniowania rentgenowskiego zachodzi na płaszczyznach należących do innej rodziny płaszczyzn odbijających

Dyfrakcja promieniowania X



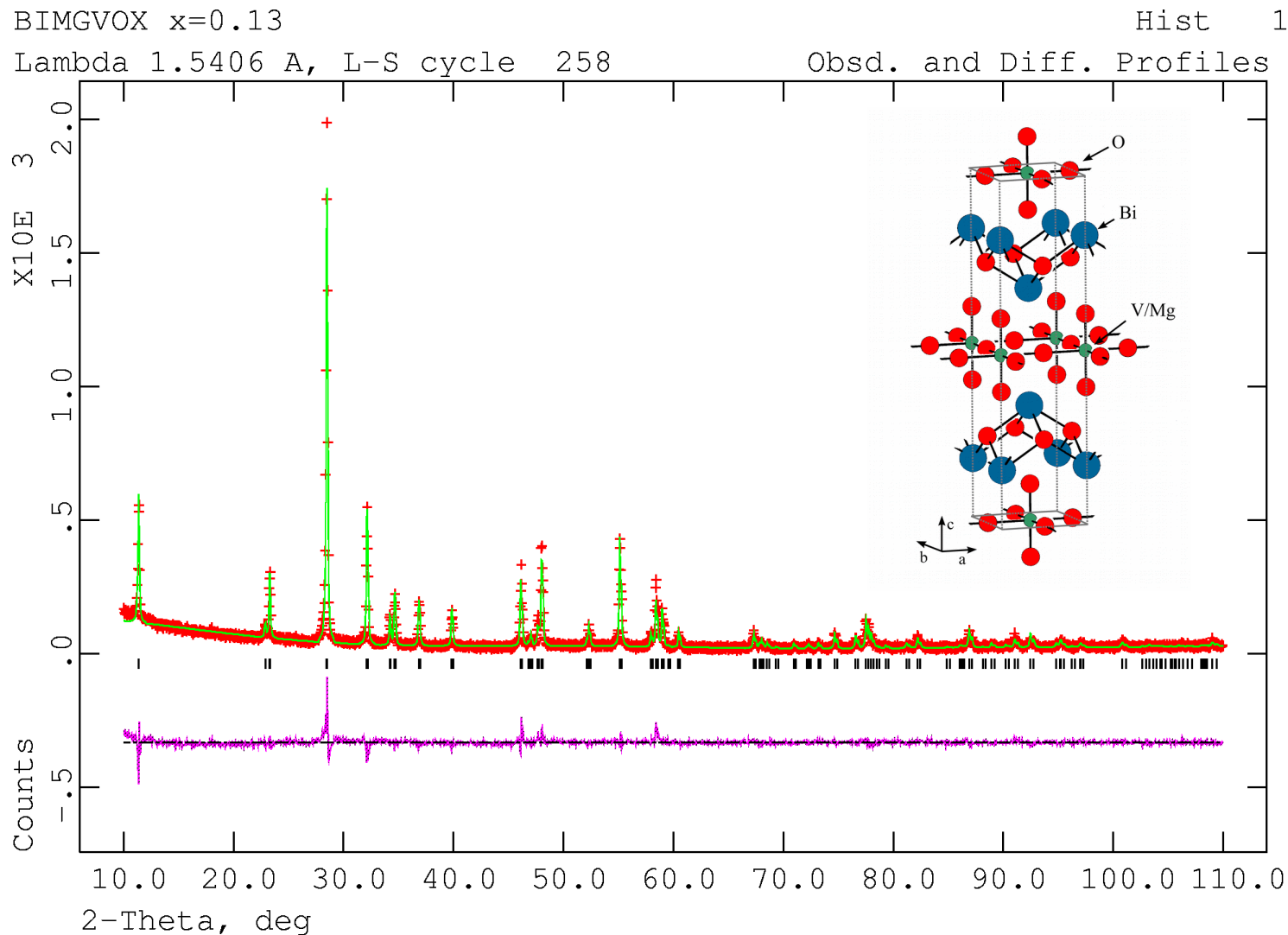
Dyfrakcję promieniowania X na kryształach można tłumaczyć jako wynik interferencji promieniowania X odbijającego się jak w zwierciadle od układu płaszczyzn równoległych, przechodzących przez węzły sieci krystalicznej

Warunek maksimum interferencyjnych
Warunek Wulfa-Bragga:

$$2d \sin \theta = m\lambda$$

gdzie d jest odległością między płaszczyznami

Rentgenowska analiza strukturalna



Detektor rejestruje intensywność promieniowania w funkcji kąta obserwacji.

Intensywność w funkcji kąta tworzy dwuwymiarowy „obraz dyrakcyjny - dyfraktogram”, który jest charakterystyczny, unikalny dla danego materiału. Każdy pik odpowiada ugięciu od konkretnej rodziny płaszczyzn (hkl).