Beugung und Interferenz elektromagnetischer Wellen (am Bsp. sichtbaren Lichts)

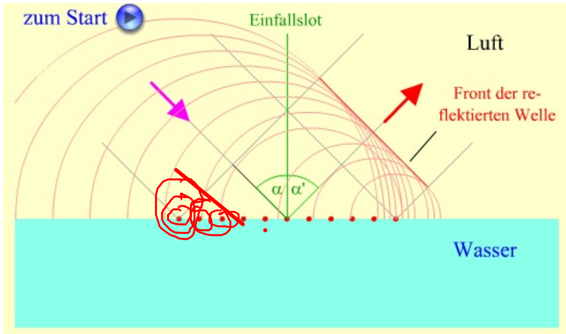
Huygenssches Prinzip

siehe auch: http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/08huygens/re_bre_beu/refl_brech_beug.htm

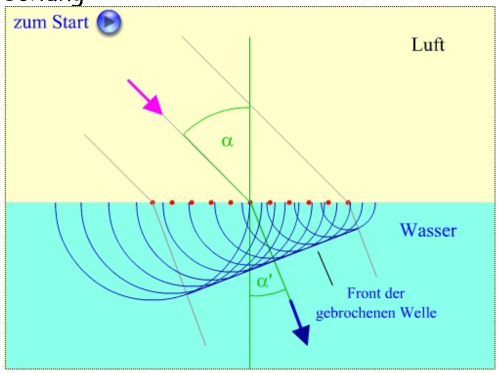
Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Zentrum einer Elementarwelle (hier: Kreiswelle) betrachtet werden.

Damit lassen sich folgende Phänomene erklären:

Reflexion



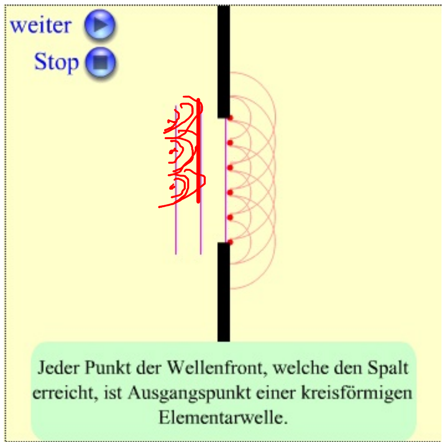
Brechung



Beugung

Mit Beugung meint man die Abweichung einer Wellenstrahlung von der geradlinigen Ausbreitung, die nicht auf Reflexion oder Brechung zurückzuführen ist.

Sie wird von Hindernissen bewirkt (die Wellen werden "um die Ecke" gebeugt).



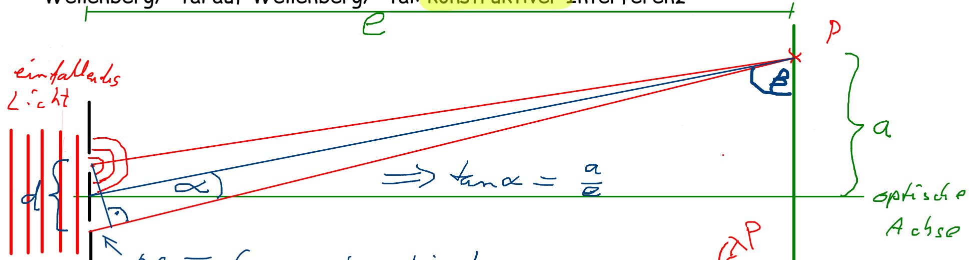
Zweiquelleninterferenz

siehe auch: http://www.leifiphysik.de/web_ph11/simulationen/11wanne/wanne.htm

Zweiquelleninterferenz

siehe auch: http://www.leifiphysik.de/web_ph11/simulationen/11wanne/wanne.htm

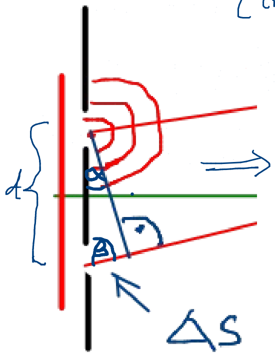
Als Interferenz bezeichnet man die Überlagerung von Wellen.
Trifft dabei ein Wellenberg auf ein Wellental, spricht man von destruktiver Interferenz.
Wellenberg/ -tal auf Wellenberg/ -tal: konstruktiver Interferenz



$\Rightarrow \tan\alpha = \frac{a}{e}$

Δs = Gangunterschied

$n = 0, 1, 2, \ldots \quad = \begin{cases} n\cdot\lambda \Rightarrow \text{konstr. Int.} \\ (n+\frac{1}{2})\lambda \Rightarrow \text{destr. Int.} \end{cases}$



$\Rightarrow \sin\alpha = \frac{\Delta s}{d}$

wg. kleinem α gilt $\sin\alpha \approx \tan\alpha$

$\Rightarrow \frac{\Delta s}{d} = \frac{a}{e}$

allg. mit $\Delta s = n\cdot\lambda$: $\frac{n\cdot\lambda}{d} = \frac{a_n}{e}$

(mit a_n= Abstand des n-ten Maximums von der optischen Achse)

HA: Bestimme λ!

ges.: $d = 0,6\,mm$

$2\cdot a_3 = 50\,mm$

$e = 7,65\,m = 7650\,mm$

Doppelspalt für Maxima:

$$\frac{n\cdot\lambda}{d} = \frac{a_n}{e}$$

mit d = Abstand der beiden Spaltmitten und a_n = Abst. des n-ten Max. ...

Einzelspalt für Minima: das gleiche

mit d = Spaltbreite

und a_n = Abst. d. n-ten Minimums zur opt. Achse

$e = 7{,}58$ m

$d = 0{,}12$ mm

$2\cdot a_1 = 77$ mm (1. Minimum)

$\Longrightarrow \lambda = 610$ nm

HA: Bestimme λ!

geg.: $d = 0{,}6\,mm$

$2 \cdot a_3 = 50\,mm$

$e = 7{,}65\,m = 7650\,mm$

$$\lambda = \frac{d \cdot a_n}{n \cdot e} \overset{(n=3)}{=} \frac{0{,}6\,mm \cdot 25\,mm}{3 \cdot 7{,}65\,m} = 6{,}54 \cdot 10^{-4}\,mm$$

$$= 6{,}54 \cdot 10^{-7}\,m$$

$$= \underline{\underline{654\,nm}}$$

$\lambda = 632{,}8\,nm$ laut Hersteller (Abweichung ca. 4% !!!)

Zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit c, Frequenz f und Wellenlänge λ
besteht der Zusammenhang: $c = \lambda \cdot f$

Die allgemeine Gleichung einer Welle lautet

$$y(t,x) = \hat{y} \cdot \sin(\omega t - kx)$$

mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$ und $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

HA: Eine Wasseroberflächenwelle habe die Wellenlänge $\lambda = 7$ m, eine Amplitude von $\hat{y} = 5$ m. Sie wird von einer Schwingung mit der Frequenz $f = 5$ Hz angeregt.

a) Berechne c.

b) Berechne $y(500\,\mathrm{s}, 1000\,\mathrm{m})$ und erkläre die Bedeutung dieses Ergebnisses.

Beugung und Interferenz am Gitter

in P Maximum: $\Delta s = n \cdot \lambda$

$$\sin\alpha_n = \frac{\Delta s}{d} \quad , \quad \tan\alpha_n = \frac{a_n}{e}$$

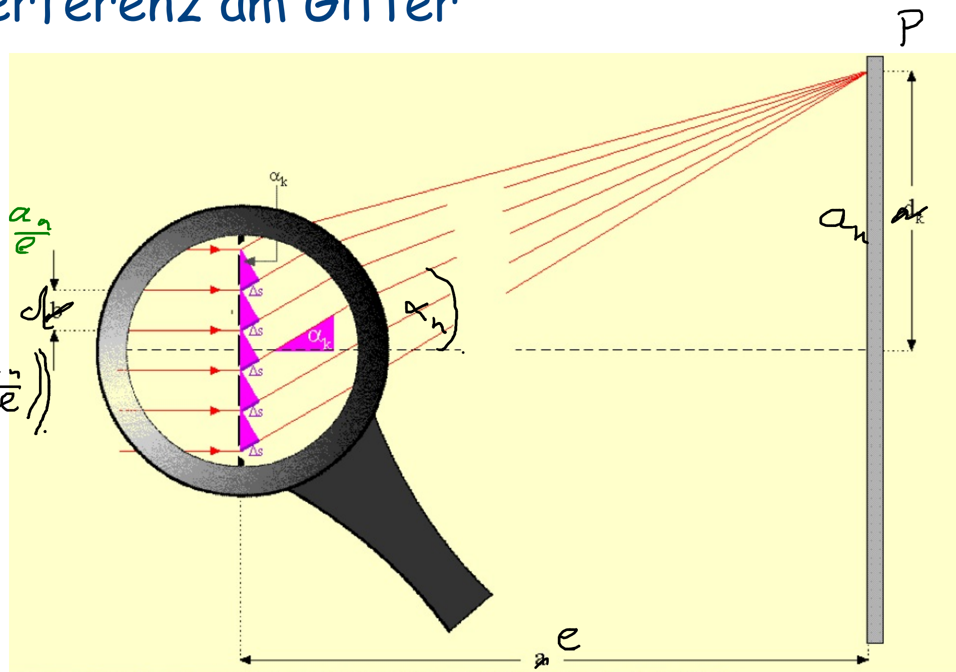
$$= \frac{n \cdot \lambda}{d} \qquad \Rightarrow \alpha_n = \tan^{-1}\frac{a_n}{e}$$

$$\Rightarrow \frac{n \cdot \lambda}{d} = \sin\alpha_n = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{a_n}{e}\right)\right)$$

$$\sin\alpha_n = \frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + e^2}}$$

$$\Rightarrow \alpha_n = \sin^{-1}\left(\frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + e^2}}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{n \cdot \lambda}{d} = \frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + e^2}}}$$



meistens ist die sog. Gitterkonstante angegeben, z.B. g = 570/mm
=> d = 1/g

Aufgaben:
http://www.leifiphysik.de/web_ph11_g8/musteraufgaben/14licht/
z.B. CD, Interferenz am Gitter, ...

HA: Moodle

/Users/ernesti/Documents/_schule/physik/aufgaben/optik/Interferenz_Durchsicht_PH08_x_G_HT_02_GG_A.pdf

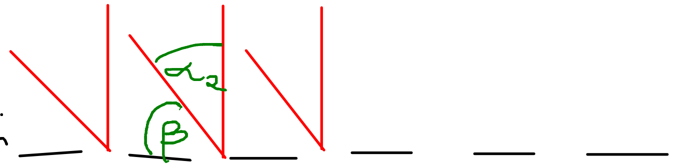
$\frac{n\lambda}{d} = \sin\alpha_n$

$\beta = 37{,}7^\circ$, $\lambda = 633\ nm$

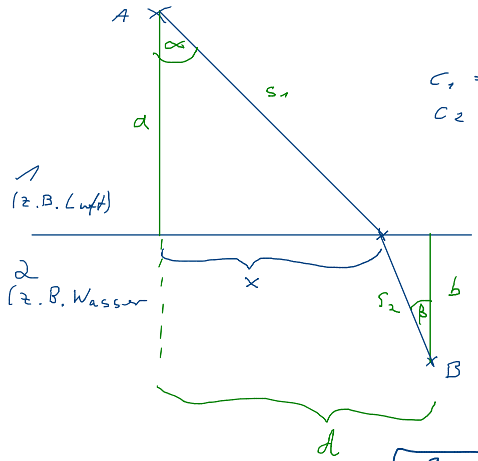
$n = 2 \Rightarrow \alpha_2 = 52{,}3^\circ$

$\frac{n\lambda}{\sin\alpha_n} = d = 1{,}6\ \mu m$

$= 1{,}6 \cdot 10^{-6}\ m$



Das Fermatsche Prinzip und die Lichtbrechung



$t(s_1+s_2) = \text{minimal}$

$c_1 = \text{Geschw. in } 1$ $\quad$ $c_2 = \text{" \quad " } 2$ $\quad \Big| \; c_1 > c_2$

$s_1 = \sqrt{a^2+x^2}$

$s_2 = \sqrt{b^2+(d-x)^2}$

$\Rightarrow t = \frac{s_1}{c_1} + \frac{s_2}{c_2}$

$= \frac{\sqrt{a^2+x^2}}{c_1} + \frac{\dots}{c_2}$

$\Rightarrow t' = \frac{dt}{dx} = \dots \overset{!}{=} 0$

$$t(x) = \frac{\sqrt{a^2+x^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{b^2+(d-x)^2}}{c_2}$$

$$\Rightarrow t' = \frac{1}{c_1}\frac{1}{\sqrt{a^2+x^2}}\cdot\frac{1}{2}\cdot 2x + \frac{1}{c_2}\frac{1}{\sqrt{b^2+(d-x)^2}}\frac{1}{2}(-1)\cdot 2(d-x) \overset{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{c_1}\frac{x}{s_1} = \frac{1}{c_2}\frac{(d-x)}{s_2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{c_1}\cdot\sin\alpha = \frac{1}{c_2}\sin\beta$$

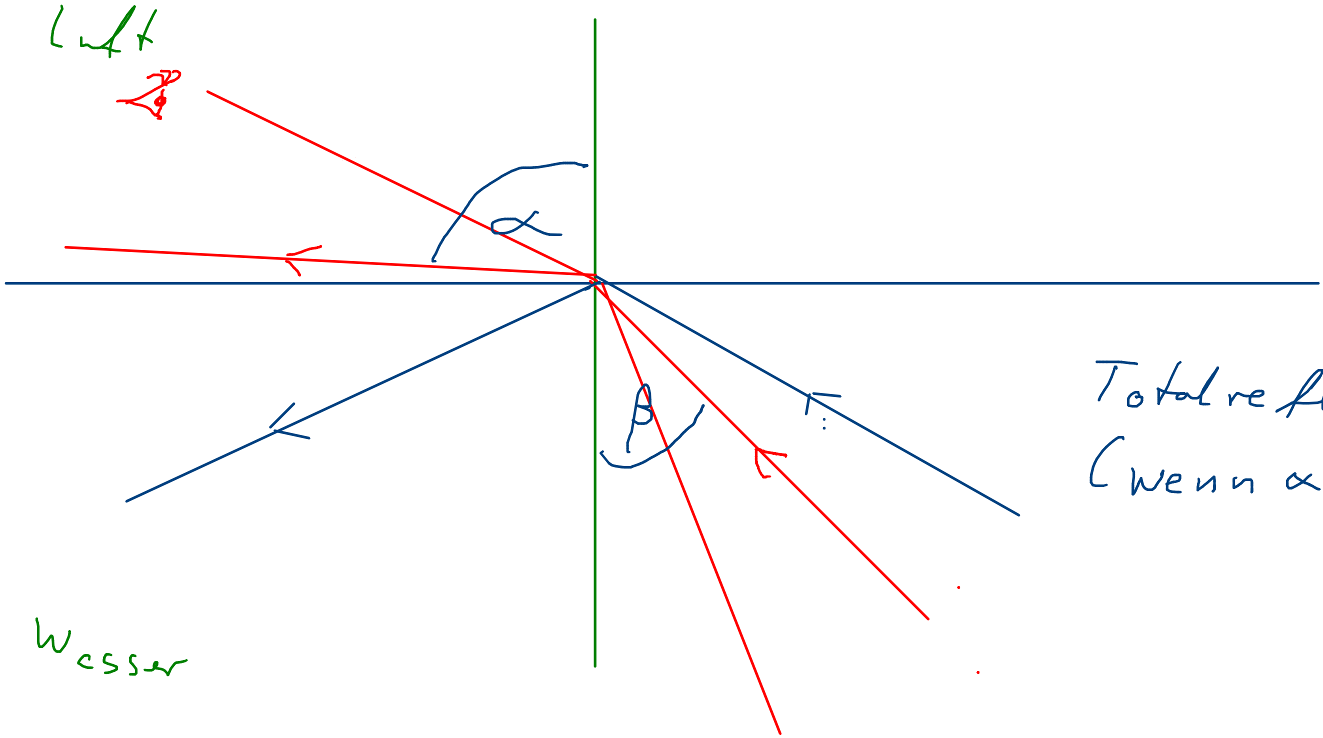
$$\Leftrightarrow \boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$c_0 = \max. c = \text{Vakuum-Lichtgeschw.} = 300000\frac{km}{s}$

$c_1 = \frac{c_0}{n_1}, \quad c_2 = \frac{c_0}{n_2}$

n = Brechzahl (Brechungsindex des Materials)

Snelliussches
Brechungsgesetz



Totalreflexion (wenn $\alpha > 90°$).

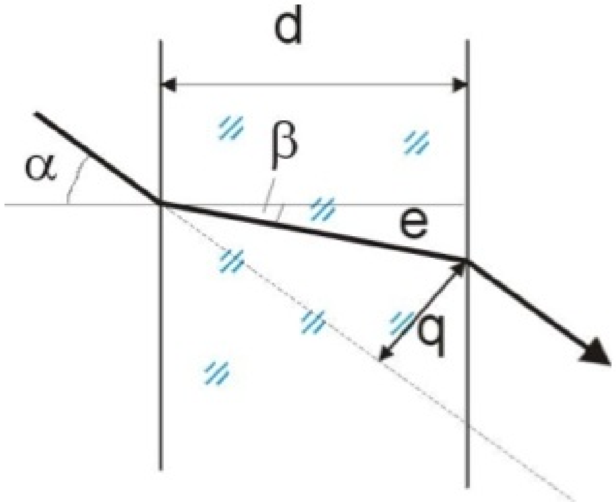
$$\frac{\sin 90°}{\sin \beta} = \frac{1{,}33}{1} \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{1{,}33} = 0{,}75$$

$$\Rightarrow \beta = 48{,}6°$$

Wie groß ist die (Quer-) Verschiebung q eines schräg durch eine Glasscheibe von der Dicke d laufenden Lichtstrahls?

a) Geben Sie eine allgemeine Formel an.
(q = f(d, Alpha, b))

b) Berechnen Sie q für d = 6mm, Alpha = 40° und n = 1,5.



a)

$$\gamma=\alpha-\beta$$

$$\sin\gamma=\frac{q}{e}$$

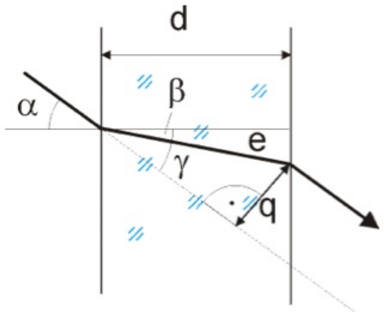
$$q=\sin\gamma\cdot e$$

$$q=\sin(\alpha-\beta)\cdot e$$

$$q=\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}\cdot d$$

$$\cos\beta=\frac{d}{e}$$

$$e=\frac{d}{\cos\beta}$$

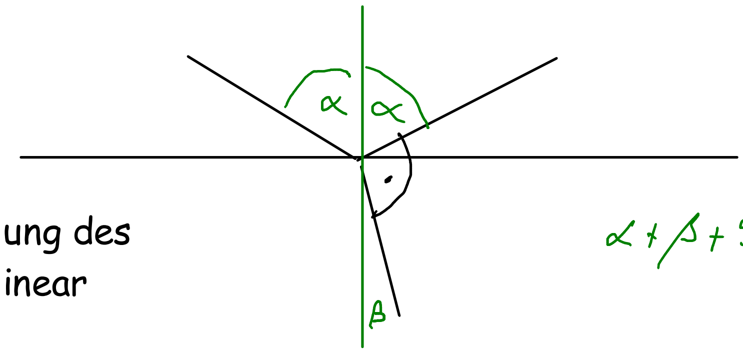


b)

geg.:	$d=6mm$ $\alpha=40°$ $n=1{,}5$	ges.:	q
Lösung:	$q=\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}\cdot d$ $q=\frac{\sin(40°-25{,}4°)}{\cos 25{,}4°}\cdot 6mm$ $q=1{,}7mm$		$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=n$ $\beta=25{,}4°$
Antwort:	Der Strahl wird um 1,7 mm verschoben.		

Polarisation durch Reflexion

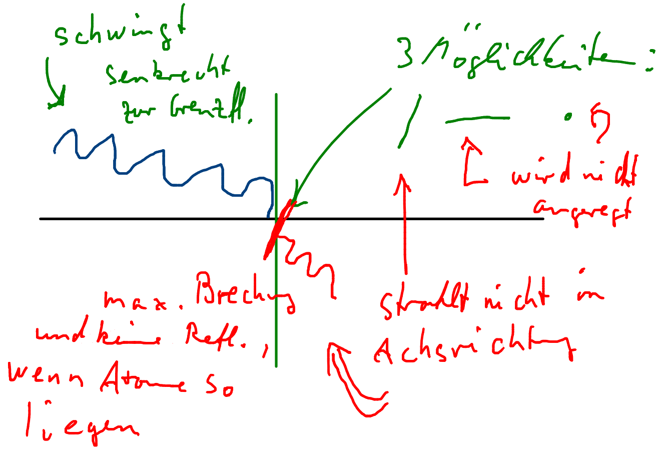
Der Brewesterwinkel gibt den Einfallswinkel an, bei dem einfallender und reflektierter Strahl unter einem Winkel von 90° liegen (siehe "Skizze").
Das reflektierte Licht ist dann linear polarisiert.



$\alpha + \beta + 90° = 180°$

Skizze einer Erklärung, dass bei Erfüllung des 90°-Kriteriums das reflektierte Licht linear polarisiert ist:
Licht = Transversalwelle
=> Modell: Atome sind wie Hertzsche Dipole
Strahlungscharakteristik eines Dipols
(keine Intensität in Richtung der Dipolachse; vgl. Mobilfunkmast auf Kindergarten)

Zus.-Fass: Licht, das so schwingt und Atome die so liegen => keine Reflexion
Der refl. Strahl enthält also nur die andere Schw.-Richtg.



Okt ->