

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

Huygenssches Prinzip

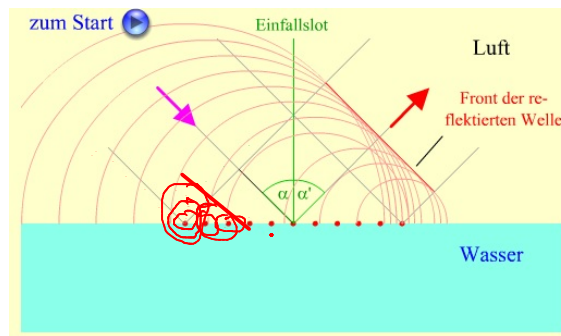
siehe auch:

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph10\\_g8/umwelt\\_technik/08huygens/re\\_bre\\_beu/refl\\_brech\\_beug.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph10_g8/umwelt_technik/08huygens/re_bre_beu/refl_brech_beug.htm)

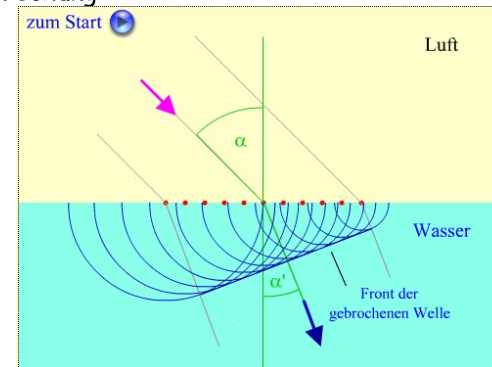
Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Zentrum einer Elementarwelle (hier: Kreiswelle) betrachtet werden.

Damit lassen sich folgende Phänomene erklären:

### Reflexion



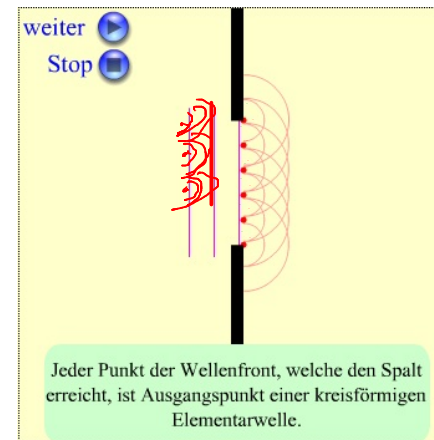
### Brechung



### 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).



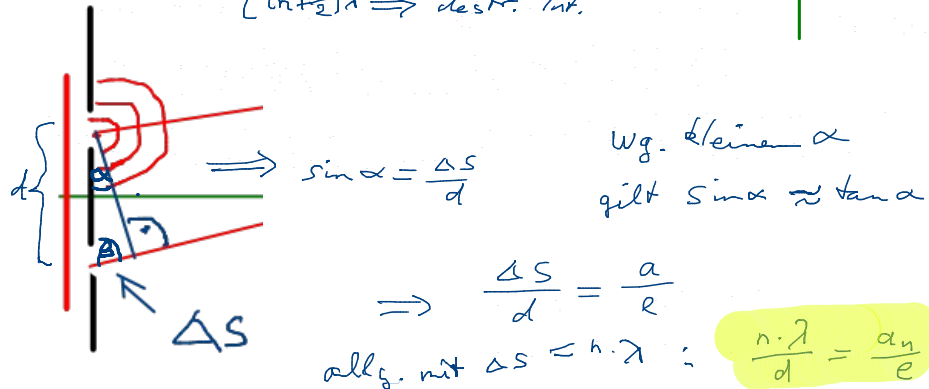
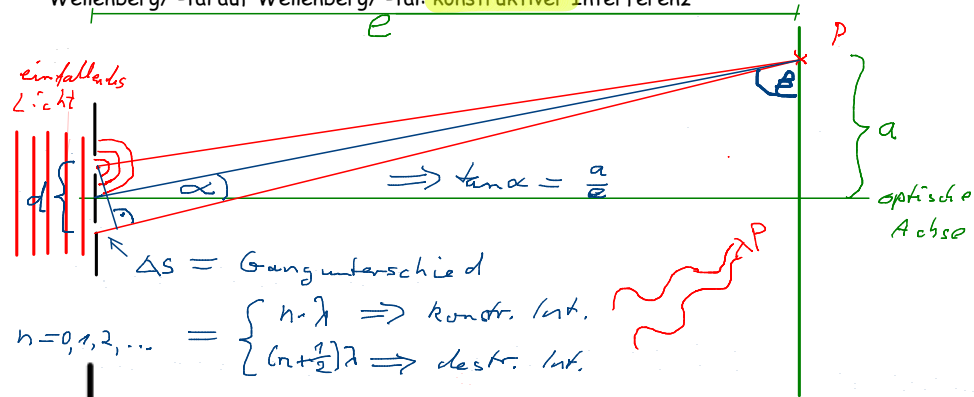
### Zweiquelleninterferenz

siehe auch: [http://www.leifiphysik.de/web\\_ph11/simulationen/11wanne/wanne.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph11/simulationen/11wanne/wanne.htm)

# Zweiquelleninterferenz

siehe auch: [http://www.leifiphysik.de/web\\_ph11/simulationen/11wanne/wanne.htm](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



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

HA: Bestimme  $\lambda$ !

geg. :  $d = 0,6 \text{ mm}$   
 $2 \cdot a_3 = 50 \text{ mm}$   
 $e = 7,65 \text{ m} = 7650 \text{ mm}$

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

---

$$e = 7,58 \text{ m}$$

$$d = 0,12 \text{ mm}$$

$$2. a_1 = 77 \text{ mm}$$

(1. Minimum)

$$\Rightarrow \lambda = 610 \text{ nm}$$

HA: Bestimme  $\lambda$ !

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

$$2 \cdot a_3 = 50 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{d \cdot a_1}{n \cdot e} \stackrel{(n=3)}{=} \frac{0,6 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}}{3 \cdot 7,65 \text{ m}} = 6,54 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \\ &= 6,54 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ &= \underline{\underline{654 \text{ nm}}} \end{aligned}$$

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

Zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ , Frequenz  $f$  und Wellenlänge  $\lambda$  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  $\lambda = 7 \text{ m}$ , eine Amplitude von  $\hat{y} = 5 \text{ m}$ . Sie wird von einer Schwingung mit der Frequenz  $f = 5 \text{ Hz}$  angeregt.

a) Berechne  $c$ .

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

# Beugung und Interferenz am Gitter

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

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

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

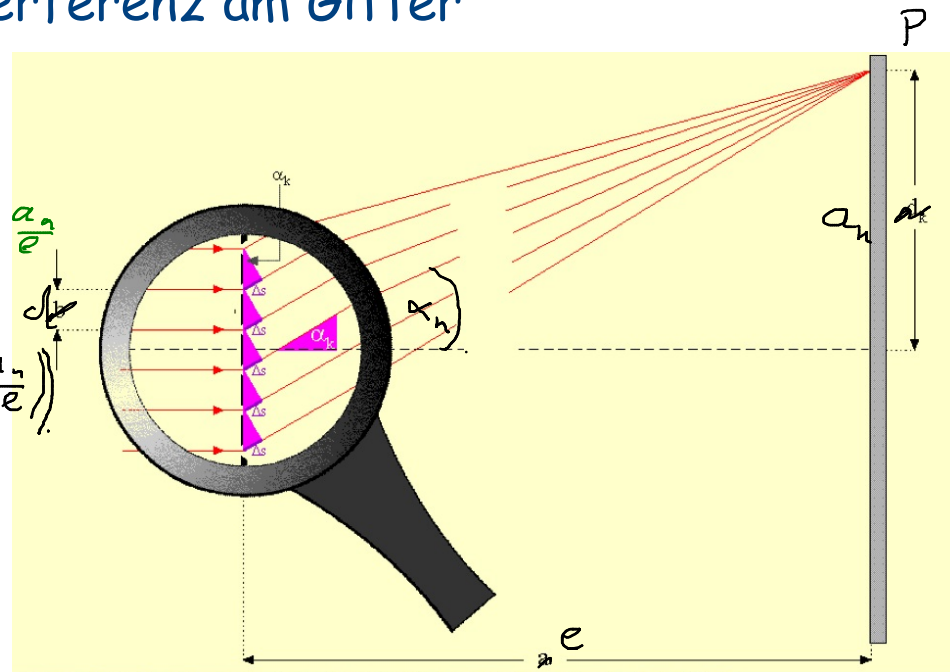
$$\Rightarrow \frac{n \cdot \lambda}{d} = \sin \alpha_n = \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{a_n}{e} \right) \right)$$

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

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

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

meistens ist die sog.  
Gitterkonstante  
angegeben, z.B.  $g = 570/\text{mm}$   
 $\Rightarrow d = 1/g$



Aufgaben:

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph11\\_g8/musteraufgaben/14licht/](http://www.leifiphysik.de/web_ph11_g8/musteraufgaben/14licht/)

z.B. CD, Interferenz am Gitter, ...

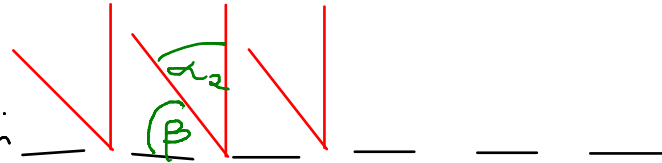
HA: Moodle

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

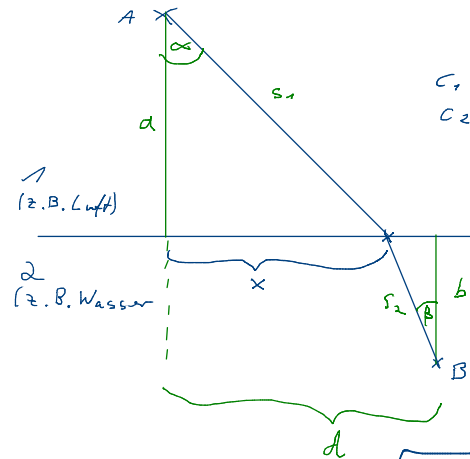
$$\alpha_1 = 37,7^\circ, \lambda = 633 \text{ nm}$$

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

$$\frac{n\lambda}{\sin \alpha_n} = d = 1,6 \mu\text{m}$$
$$= 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$



# Das Fermatsche Prinzip und die Lichtbrechung



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

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

$s_1 = \sqrt{a^2 + x^2}$   
 $s_2 = \sqrt{b^2 + (d-x)^2}$   
 $\Rightarrow t = \frac{s_1}{c_1} + \frac{s_2}{c_2}$   
 $= \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c_1} + \frac{\dots}{c_2}$   
 $\Rightarrow t' = \frac{dt}{dx} = \dots \stackrel{!}{=} 0$

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

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

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

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

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

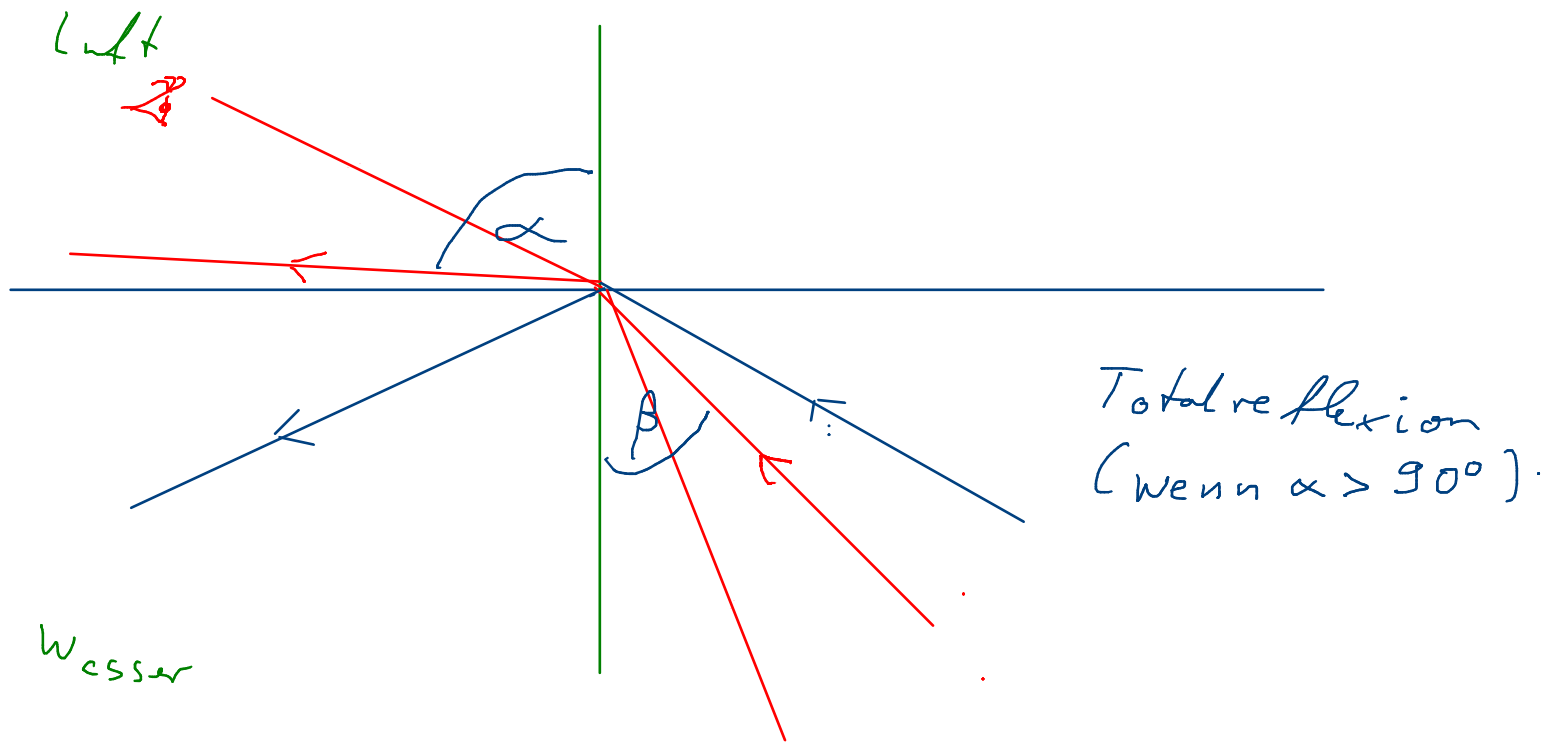
$c_0 = \text{max. } c = \text{Vakuumlichtgeschw.} = 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

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

$n = \text{Brechzahl (Brechungsindex des Materials)}$

Snelliussches Brechungsgesetz





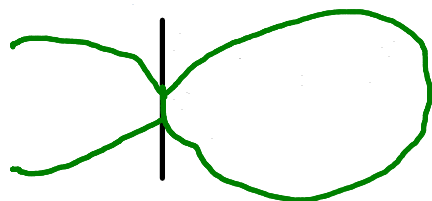
$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \beta} = \frac{1,33}{1} \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{1,33} = 0,75$$

$$\Rightarrow \beta = 48,6^\circ$$

# Polarisation durch Reflexion

Der Brewsterwinkel gibt den Einfallswinkel an, bei dem einfallender und reflektierter Strahl unter einem Winkel von  $90^\circ$  liegen (siehe "Skizze").

Das reflektierte Licht ist dann linear polarisiert.



Skizze einer Erklärung, dass bei Erfüllung des  $90^\circ$ -Kriteriums das reflektierte Licht linear polarisiert ist:

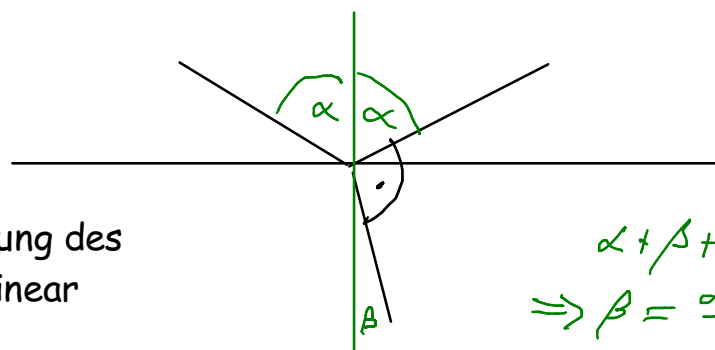
Licht = Transversalwelle

=> Modell: Atome sind wie Hertzsche Dipole

Strahlungscharakteristik eines Dipols  
(keine Intensität in Richtung der Dipolachse;  
vgl. Mobilfunkmast auf Kindergarten)

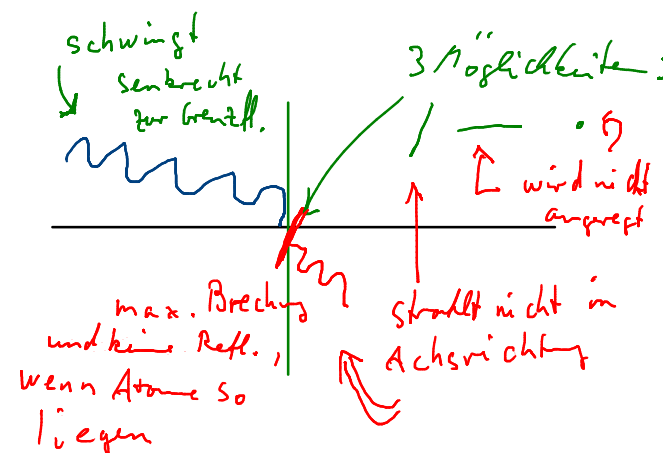
Zus.-Fass: Licht, das so schwingt und Atome die so liegen => keine Reflexion

Der refl. Strahl enthält also nur die andere Schw.-Richtg.

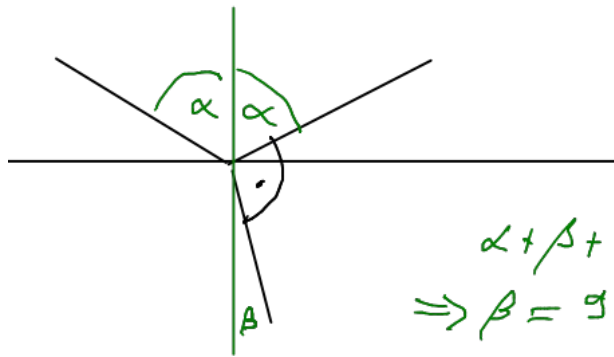


$$\alpha + \beta + 90^\circ = 180^\circ$$

$$\Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha$$



Okt ->

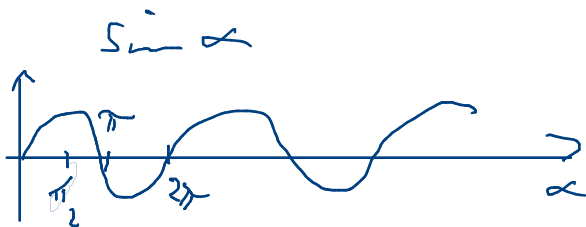


$$\alpha + \beta + 90^\circ = 180^\circ$$

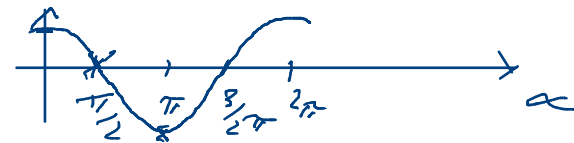
$$\Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)}$$

$$= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{\text{GWS}}$$



$$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos(\alpha)$$



Bsp.  $n_{\text{GWS}} = 1,5 \Rightarrow \alpha_B = \tan^{-1}(1,5) = \underline{\underline{56^\circ}}$

Brewsterwinkel

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.  
( $q = f(d, \alpha, \beta)$ )

b) Berechnen Sie  $q$  für  $d = 6\text{mm}$ ,  $\alpha = 40^\circ$  und  $n = 1,5$ .

$$a) \quad \gamma = \alpha - \beta$$

$$\sin \gamma = \frac{q}{e} \Leftrightarrow q = e \cdot \sin(\alpha - \beta)$$

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

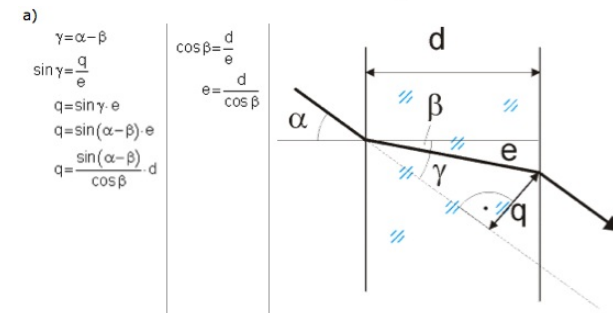
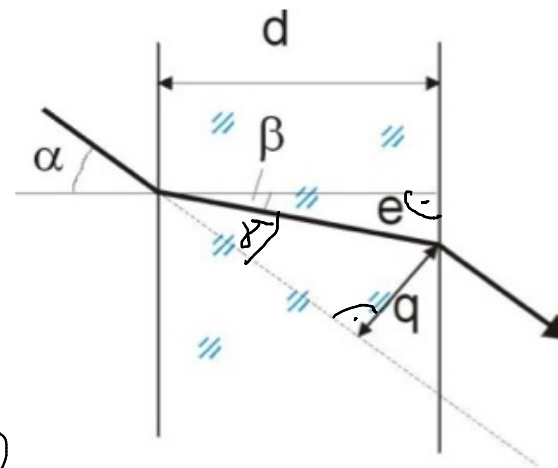
$$\text{zus.:} \quad q = \frac{\sin(\alpha - \beta) \cdot d}{\cos \beta}$$

$$b) \quad (\beta?) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{hier} = 1,5$$

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin 40^\circ}{1,5} \Rightarrow \beta = 25,4^\circ$$

$$\Rightarrow q = \frac{\sin(14,6^\circ) \cdot 6\text{mm}}{\cos(25,4^\circ)}$$

$$= 1,67\text{mm}$$



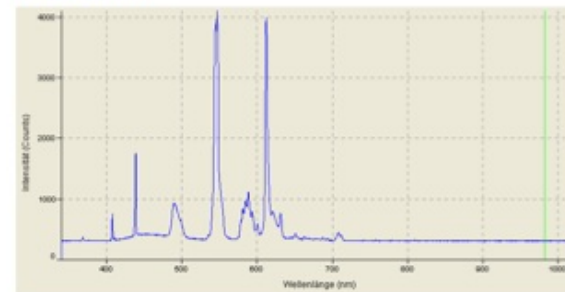
b)

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

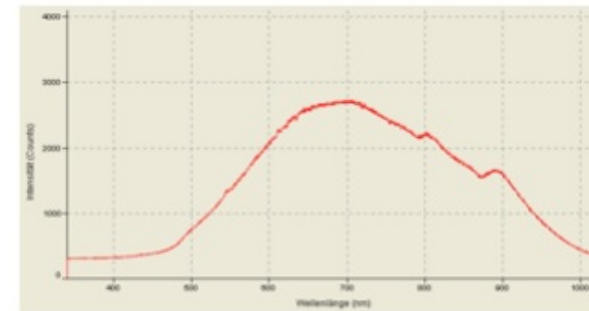
# Spektroskopie

Ein Spektrum ist die Intensität als Funktion der Wellenlänge, der Frequenz, der Energie oder - im Falle von Elementarteilchen, Atomen oder Ionen - der Masse.

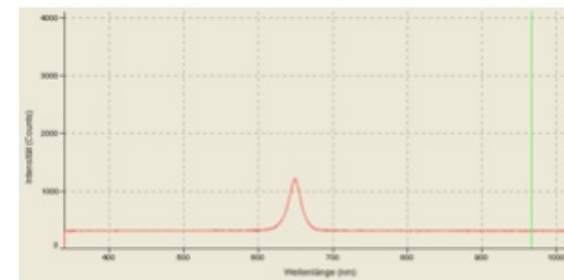
Leuchtstoffröhre



Flamme



LED



# Quantenphysik

## Experimente mit Licht und Zinkplatte

Beschreibe detailliert die Beobachtungen, die man bei dem Experiment machen konnte.

Versuche die Beobachtungen physikalisch zu erklären!

Inwiefern widersprechen die Ergebnisse den "klassischen" Vorstellungen vom Licht?

Möglichkeit der Abgabe in Moodle bis Mi, 12 Uhr

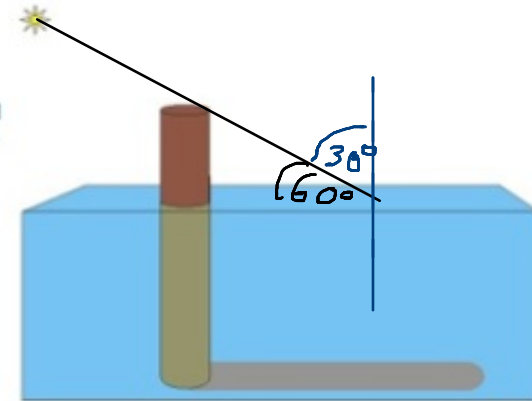
Hg-Lampe = Quecksilberdampf Lampe

<--17.10.11



aus Diamant besteht:

- 1.2. In ein Wasserbecken von 2 m Tiefe wird ein Pfahl gerammt, der 50 cm aus dem Wasser herausragt. Wie lang ist der Schatten des Pfahls auf dem Grund des Wasserbeckens, wenn die Sonnenstrahlen unter einem Winkel von  $60^\circ$  zur Wasseroberfläche einfallen?



~~Die Sonne scheint aus Osten die Höhe des Pfahls beträgt 50 cm~~

