3.4 Wellenoptik

Farben

76

a) Eine reflektierende Fläche (z.B. ein Spiegel oder eine weisse Fläche) wurde gleichzeitig mit drei gleich hellen Taschenlampen beleuchtet. Die erste Taschenlampe erzeugt durch einen davor gestellten Filter rotes Licht, die zweite blaues Licht und die dritte grünes Licht. Die drei Lichtkegel werden zur Überlappung gebracht. Die additive Farbmischung von Rot und Grün ergibt Gelb, diejenige von Blau und Rot ergibt Magenta, diejenige von Blau und Grün ergibt Cyan. Die additive Mischung aller drei Grundfarben ergibt Weiss.

b) **I)** Gelb= $\begin{pmatrix}1\\1\\0\end{pmatrix}$, Cyan= $\begin{pmatrix}0\\1\\1\end{pmatrix}$, Magenta= $\begin{pmatrix}1\\0\\1\end{pmatrix}$, Weiss= $\begin{pmatrix}1\\1\\1\end{pmatrix}$

II) Grau = $\begin{pmatrix}a\\a\\a\end{pmatrix}$. Für $a = 0$ hat man Schwarz, für $a = 1$ Weiss. Dazwischen alle möglichen Übergänge von dunkelstem Grau zu hellstem Grau.

77

a) Zuerst wurde beispielsweise die gelbe Fläche durch alleinige Betätigung der Farbpatrone Yellow gedruckt. Anschliessend wurde die Farbpatrone Magenta eingeschaltet und die Fläche in dieser Farbe so gemalt, dass sie teilweise die gelbe Fläche überlappt. Diese Überlappung erscheint in roter Farbe. Schliesslich wurde die dritte Kreisfläche durch alleinige Betätigung der Farbpatrone Cyan gemalt. Die Überlappung aller drei Farbkreise erscheint schwarz.

b) **I)** Rot= $\begin{pmatrix}0\\1\\1\end{pmatrix}$, Grün= $\begin{pmatrix}1\\0\\1\end{pmatrix}$, Blau= $\begin{pmatrix}1\\1\\0\end{pmatrix}$, Schwarz= $\begin{pmatrix}1\\1\\1\end{pmatrix}$.

II) Grau = $\begin{pmatrix}a\\a\\a\end{pmatrix}$. Für $a = 0$ hat man Weiss (auf weissem Papier), für $a = 1$ Schwarz. Dazwischen alle möglichen Übergänge von hellstem Grau zu dunkelstem Grau.

78

a) Um die Frage zu beantworten, konstruiert man sich am besten den linken Würfel aus Papier und malt die Ecken entsprechend aus. Man kann dann den Würfel so drehen, dass die Ebene weiss-blau-schwarz-gelb wie beim rechten Würfel angeordnet ist. Man entdeckt dann aber auch sofort, dass die Farben Rot und Grün, so wie Magenta und Cyan nur durch eine Spiegelung an dieser Ebene in die richtige Position gebracht werden können. Eine Drehung des Würfels genügt also nicht.

b) $\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$

79

a) Gelb, weil der Gegenstand alle Lichtkomponenten zurückreflektiert.
b) Dunkelgelb. Das gelbe Licht kann als die additive Mischung von rotem Licht und grünem Licht aufgefasst werden. Die rote Komponente wird reflektiert, die grüne absorbiert. Da aber die Natriumdampflampe monochromatisches Licht aussendet, kann bloss dessen Intensität durch Absorption oder Reflektion verändert werden.
c) Schwarz, weil das gelbe Licht die blaue Lichtkomponente in der additiven Farbmischung nicht enthält.

Reflexion und Brechung

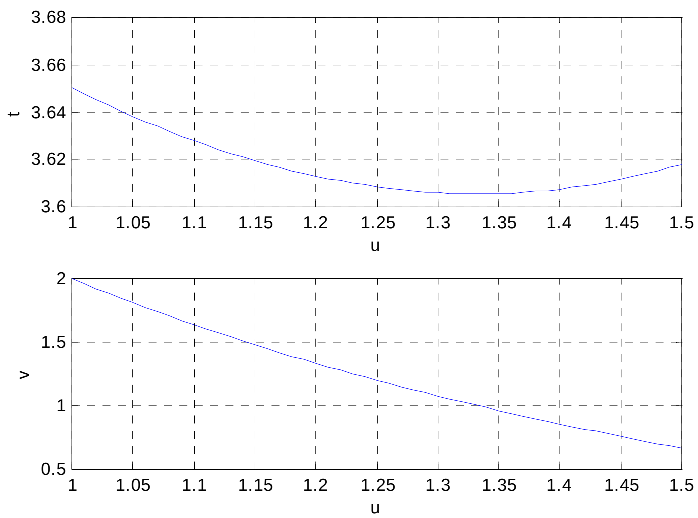
80

$c_1 = \dfrac{c_0}{n}$; $1.716 \cdot 10^8$ m/s; $\lambda_1 = \dfrac{\lambda_0}{n}$; 346.8 nm

81

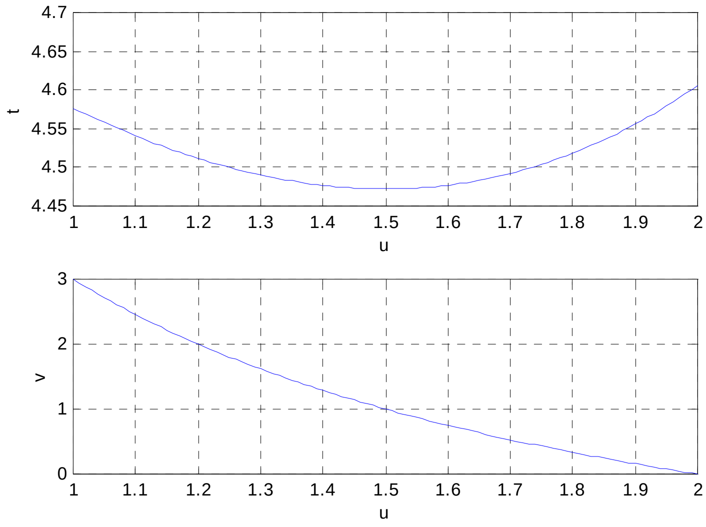
a) $t = \dfrac{\sqrt{u^2 + y_A{}^2} + \sqrt{(x_B - u)^2 + y_B{}^2}}{c}$

b) $t = \dfrac{\sqrt{u^2 + 4} + \sqrt{(2-u)^2 + 1}}{c}$; $\dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha} = \dfrac{2(2-u)}{u} = v$



Das Minimum tritt bei $u = 1.33$ m auf. Bei diesem Wert von u ist $v = 1$.

c) $t=\dfrac{\sqrt{u^2+9}+\sqrt{(2-u)^2+1}}{c}$; $\quad \dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha}=\dfrac{3(2-u)}{u}$



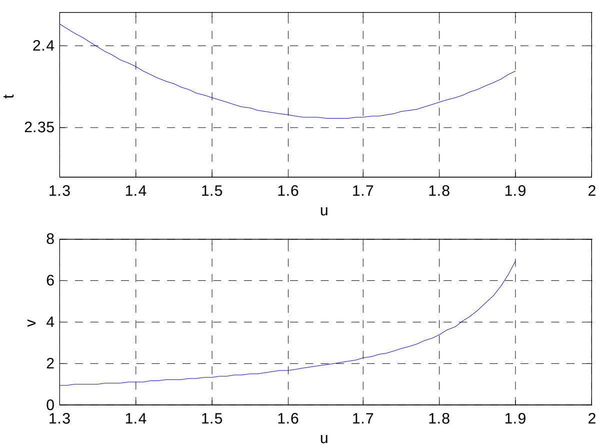
Das Minimum tritt jetzt bei u=1.50 m auf. Bei diesem Wert von u ist wieder $v = 1$.

d) Bei der Reflexion sucht sich das Licht den schnellsten Weg von A nach B aus.

82

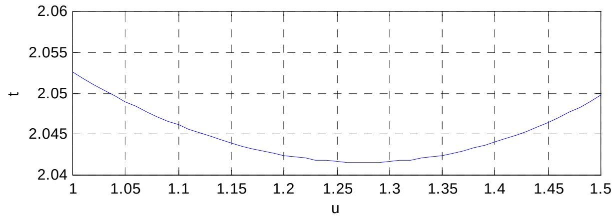
a) $t=\dfrac{\sqrt{u^2+{y_A}^2}}{c_1}+\dfrac{\sqrt{(x_B-u)^2+{y_B}^2}}{c_2}$

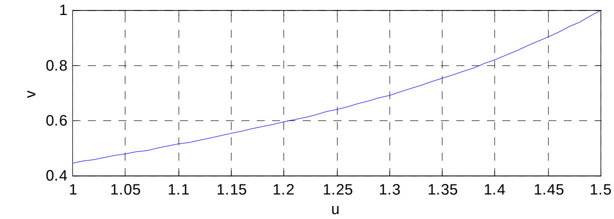
b) $t=\dfrac{\sqrt{u^2+4}}{2}+\sqrt{(2-u)^2+1}$; $\quad \dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\dfrac{u\sqrt{(2-u)^2+1}}{(2-u)\sqrt{u^2+4}}$



Das Minimum tritt auf bei u = 1.67 m. Bei diesem Wert von u ist $v = 2$.

c) $t = \frac{\sqrt{u^2+9}}{2} + \frac{\sqrt{(2-u)^2+1}}{3}$; $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{u\sqrt{(2-u)^2+1}}{(2-u)\sqrt{u^2+9}}$





Das Minimum tritt jetzt bei u=1.275 m auf. Bei diesem Wert von u ist $v = 2/3$.

d) Bei der Brechung sucht sich das Licht den schnellsten Weg von A nach B aus.

Dispersion

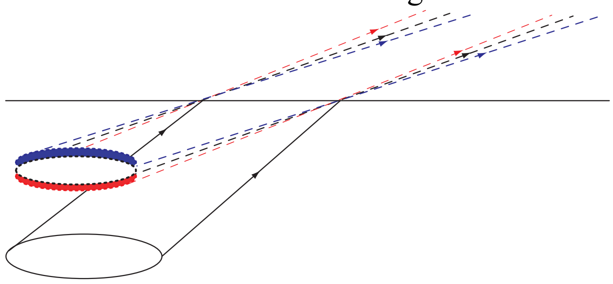
83

a) Der Farbfehler sphärischer Linsen beruht auf der mit der Brechung verknüpften Dispersion. Das heisst, violettes Licht wird stärker gebrochen als rotes, somit treten Farberscheinungen bei Linsen auf. Bei der Reflexion tritt keine Dispersion auf.

b) Der violette Strahl wird am meisten gebrochen, der rote hingegen am wenigsten. In der Mitte des Strahlenbündels bleiben alle Farben gemischt und ergeben weiss.

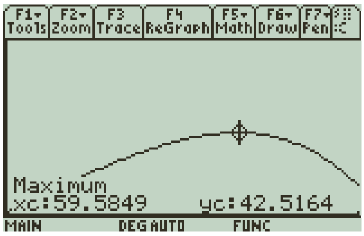
84

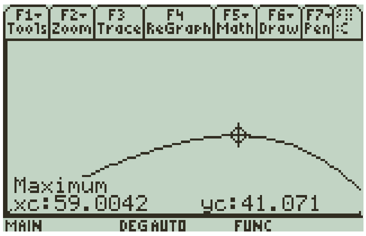
Die roten Strahlen werden weniger abgelenkt als die violetten Strahlen. Sie besitzen eine grössere Wellenlänge, somit eine kleinere Brechzahl und eine kleinere Gesamtablenkung als die violetten Strahlen. Die roten Strahlen werden unter einem steileren Winkel als die violetten Strahlen beobachtet. Somit sind auch verschiedene farbige virtuelle Bilder zu sehen. Der untere Rand erscheint rot, der obere blau, und in der Mitte mischen sich alle Farben und ergeben weiss.



85

a) $\delta(\alpha) = 4 \cdot \arcsin\left(\dfrac{\sin\alpha}{n}\right) - 2\alpha$

b) 



c) Für den roten Lichtstrahl findet man $\delta_{\max} = 42.5°$.
Für den blau-violetten Strahl findet man $\delta_{\max} = 41.1°$.

Interferenz und Beugung

86

$\alpha = \arctan\dfrac{a}{b}$, $\lambda = d \cdot \sin\alpha$; 633 nm

87

a) b: Rillenabstand
λ: Wellenlänge
n: Beugungsmaximum
$\alpha_n = \arcsin\dfrac{n\lambda}{b}$; 15° für CD; 33° für DVD
Für die «Blue-Ray-Disk» tritt kein Beugungsmaximum erster Ordnung auf!

b) Die Datenmenge ist proportional zur Scheibenfläche und umgekehrt proportional zum Quadrat des Rillenabstandes.
Bei der «Blue Disk» wird folgende Datenmenge erwartet:
$0.7\text{ GB} \cdot \left(\dfrac{3}{12}\right)^2 \left(\dfrac{1.6}{0.32}\right)^2 \approx 1.1\text{GB}$

Bemerkung: Das Loch in der Mitte der Scheibe wurde nicht berücksichtigt.

c) $0.7\text{GB} \cdot \left(\dfrac{1.6}{0.32}\right)^2 \approx 18\text{ GB}$
27 GB scheint nicht machbar zu sein.

88

a) $\sin\varphi \approx \tan\varphi \Rightarrow b = a \cdot \dfrac{d}{1.22 \cdot \lambda}$; 4.5 m

b) Claudias Sehschärfe ist ungenügend, sie sollte eine Brille kaufen.

89

$a = b \cdot \dfrac{1.22 \cdot \lambda}{d}$; 16 m

Polarisation

90

Aus $\alpha_1 = kc_1d_1$ und $\alpha_2 = kc_2d_2$ erhält man $c_2 = \dfrac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \dfrac{d_1}{d_2} \cdot c_1 = 90 \text{ mg/cm}^3$.

Die Molmasse von Traubenzucker ist 180 g/mol. Also ist die Konzentration $5.0 \cdot 10^{-4}$ mol/cm^3.

91

a) Das Brechungsgesetz lautet $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$.

Aus $\gamma = 90^\circ$ folgt $\beta = 90^\circ - \alpha$ und $\sin\beta = \cos\alpha$.

Also $n = \dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$.

b) $\alpha = \arctan(1.4) = 54.5^\circ$

c) Die Polarisationsebene ist parallel zum Glas.

d) Das Glitzern, das durch die Reflexion des Sonnenlichtes an der Wasseroberfläche entsteht, wird durch eine Polaroidbrille mit senkrechter Polarisationsrichtung weitgehend absorbiert. Dadurch sieht der Fischer die Fische im Wasser besser.