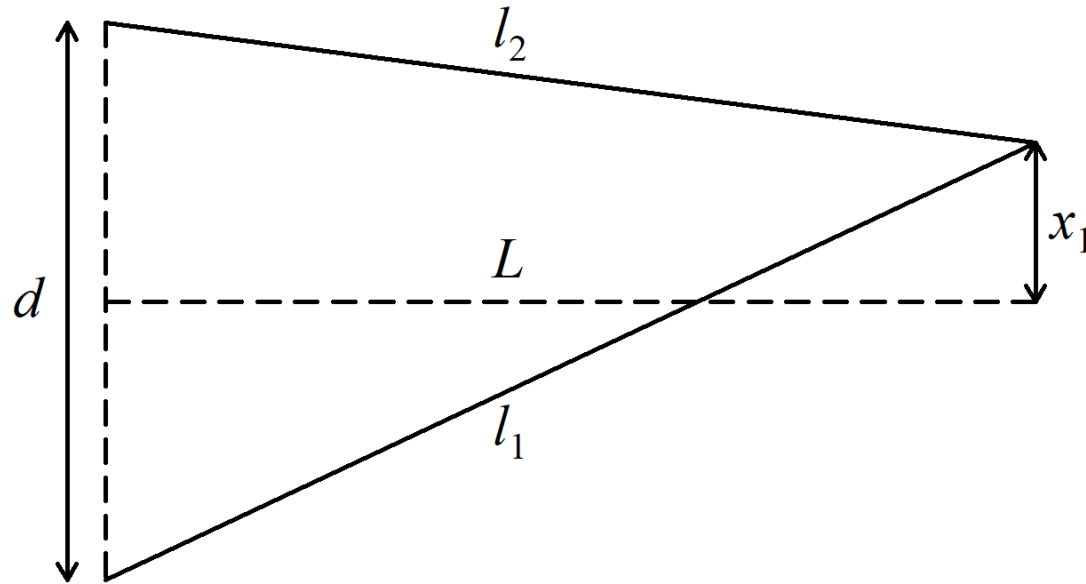


Übungsserie 12 – Physik II

- Die Übungsaufgaben sind entnommen aus:
PHYSIK – Beispiele und Aufgaben;
H. Stroppe, P. Streitenberger, E. Specht, J. Zeitler, H. Langer;
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2017.
- Als allgemeine Grundlagen vorausgesetzt werden die Inhalt aus Physik I sowie übliche mathematische Beziehung (wie der Satz des Pythagoras, trigonometrische Zusammenhänge und Ableiten/Integrieren)
- Die Übung ist fakultativ, es müssen keine Übungsaufgaben abgegeben werden
- Es wird empfohlen die Aufgaben zunächst alleine zu lösen und erst dann mit den Lösungsblatt zu vergleichen (oder das Lösungsblatt zumindest nur für die Ansätze zu nutzen, falls man keine Idee zum Anfangen hat)
- Falls während der Bearbeitung Fragen entstehen, können diese an elias.baron@ovgu.de gestellt werden oder man bespricht sie persönlich im G16-145 (Büro)

760) Aufgabe

Skizze:

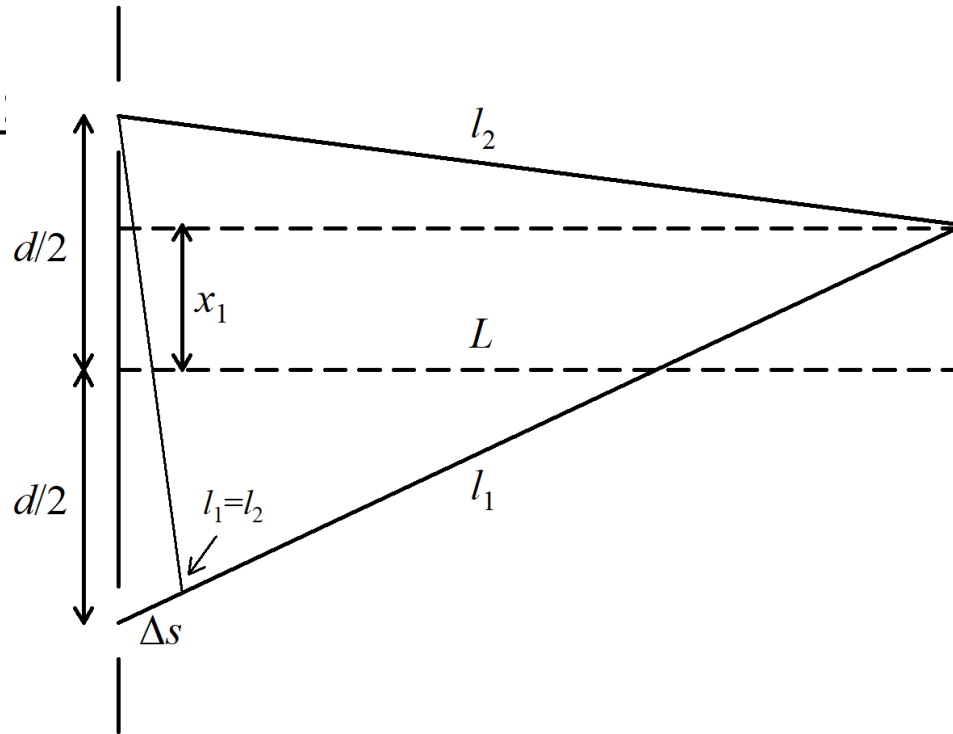


Abstand der Lautsprecher: $d = 4\text{m}$
Entfernung zum Beobachter: $L = 6\text{m}$
Seitliche Bewegung: $x_1 = 0,5\text{m}$
Schallgeschwindigkeit: $c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Gesucht sind a) die Entfernungen l_1 und l_2 , sowie b) der Gangunterschied der eintreffenden Schallwellen, wenn man bei einer seitlichen Verschiebung um x_1 einen maximal lauten Ton hört und c) die Frequenz des Tons.

760) Grundlagen

Skizze



Beziehung zwischen Frequenz f , Wellenlänge λ und Ausbreitungsgeschwindigkeit c von Wellen:

$$c = f \cdot \lambda$$

Bedingung für die Entstehung von Maxima bei Überlagerung von Wellen (Interferenzbedingung):

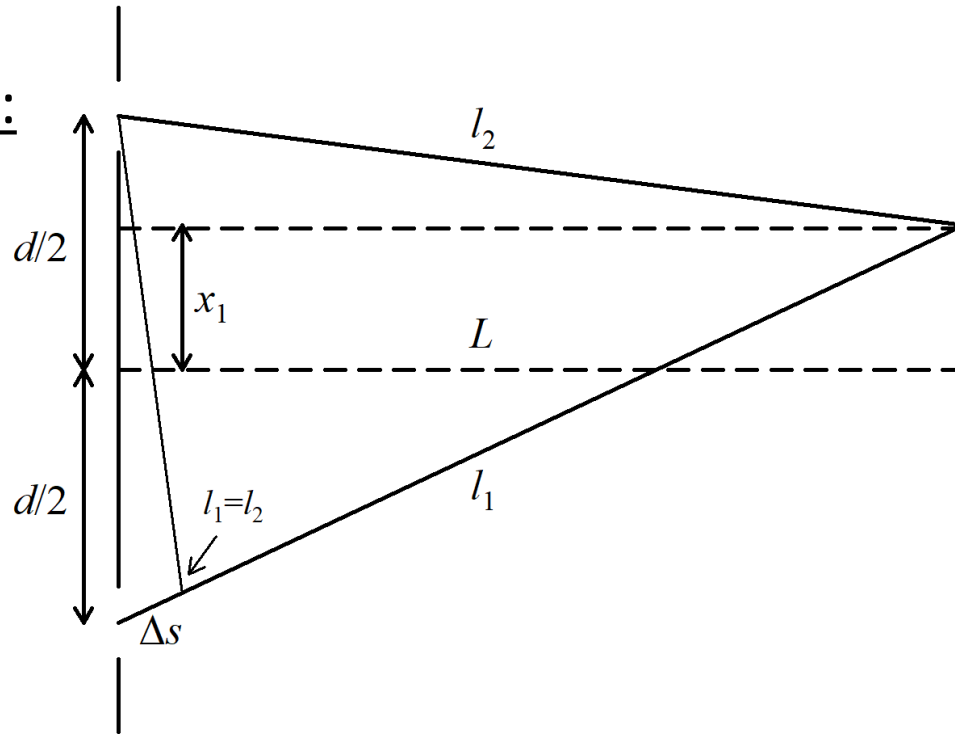
$$\Delta s = z \cdot \lambda$$

Wobei $z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ die Interferenzordnung ist.

Einheit der Frequenz: Hz (Hertz), $1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$

760) Lösung a)

Skizze:



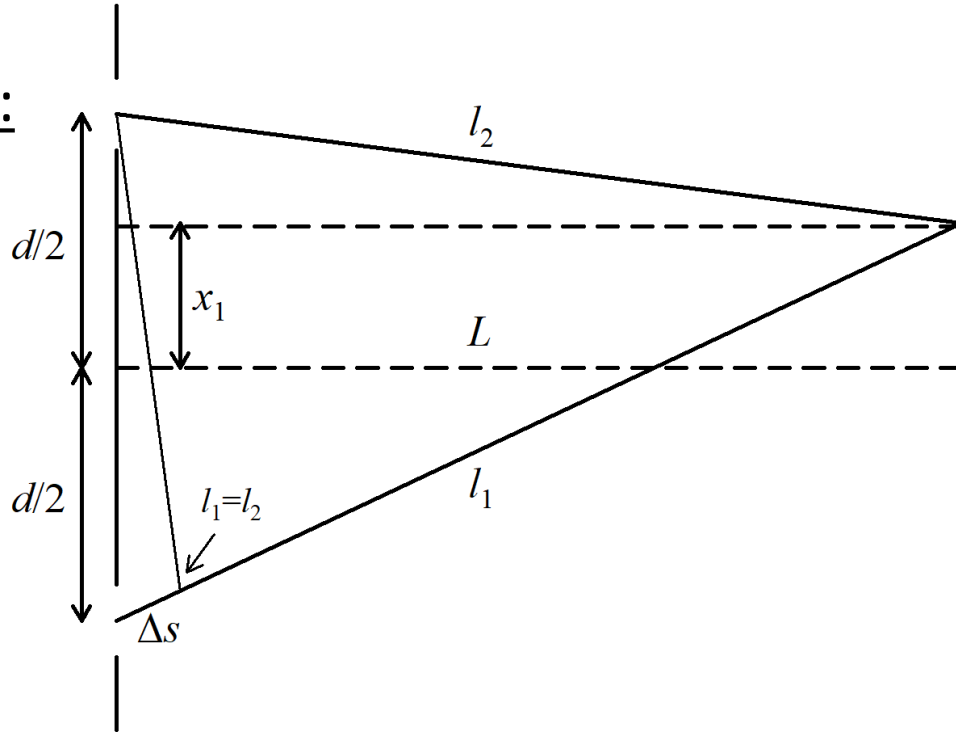
Die Entfernungen l_1 und l_2 können einfach über den Satz des Pythagoras berechnet werden:

$$l_1 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2} + x_1\right)^2}$$

$$l_2 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2} - x_1\right)^2}$$

760) Lösung a)

Skizze:



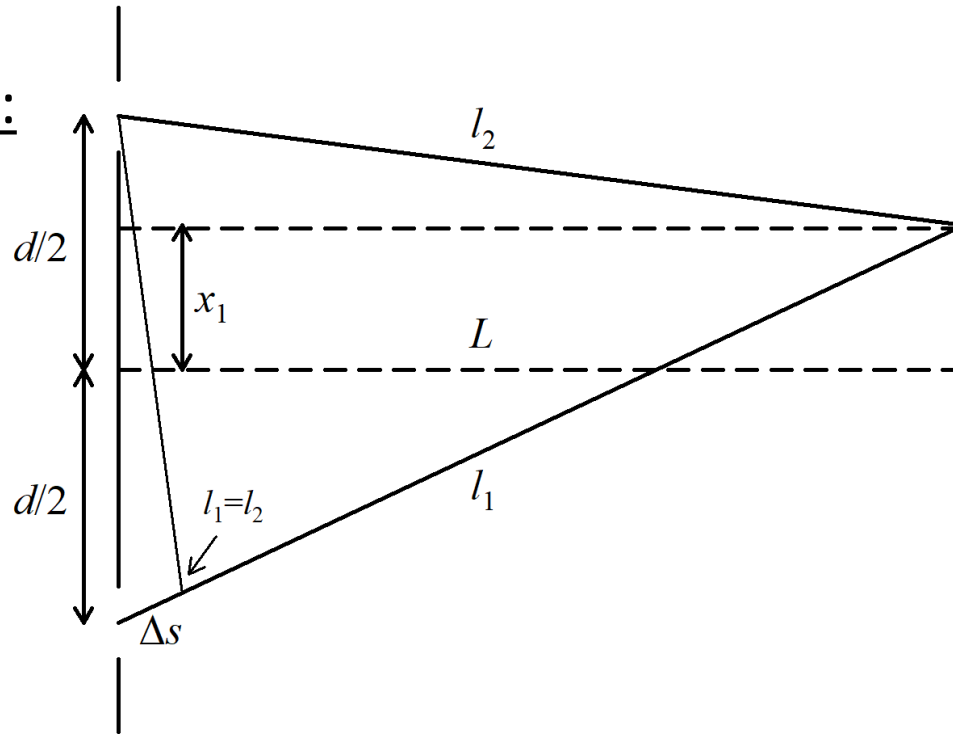
Die Entfernungen l_1 und l_2 können einfach über den Satz des Pythagoras berechnet werden:

$$l_1 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2} + x_1\right)^2} = 6,5\text{m}$$

$$l_2 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2} - x_1\right)^2} = 6,185\text{m}$$

760) Lösung b)

Skizze:

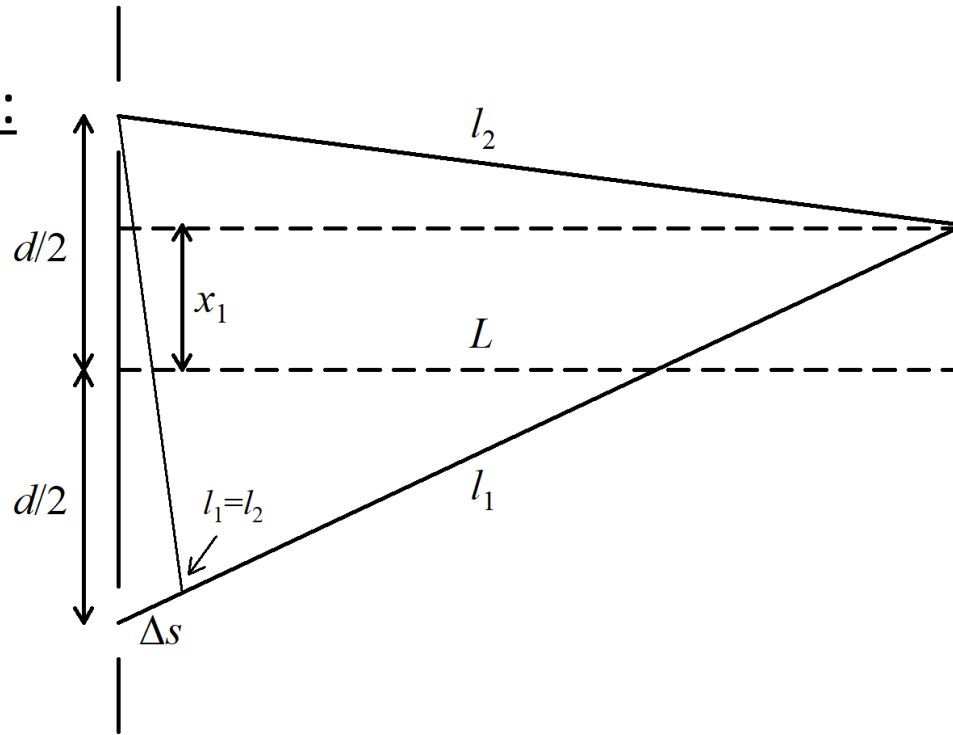


Unter dem Gangunterschied Δs verstehen wir die Differenz der optischen oder akustischen Weglängen. In unserem Fall ergibt sich:

$$\Delta s = l_1 - l_2$$

760) Lösung b)

Skizze:

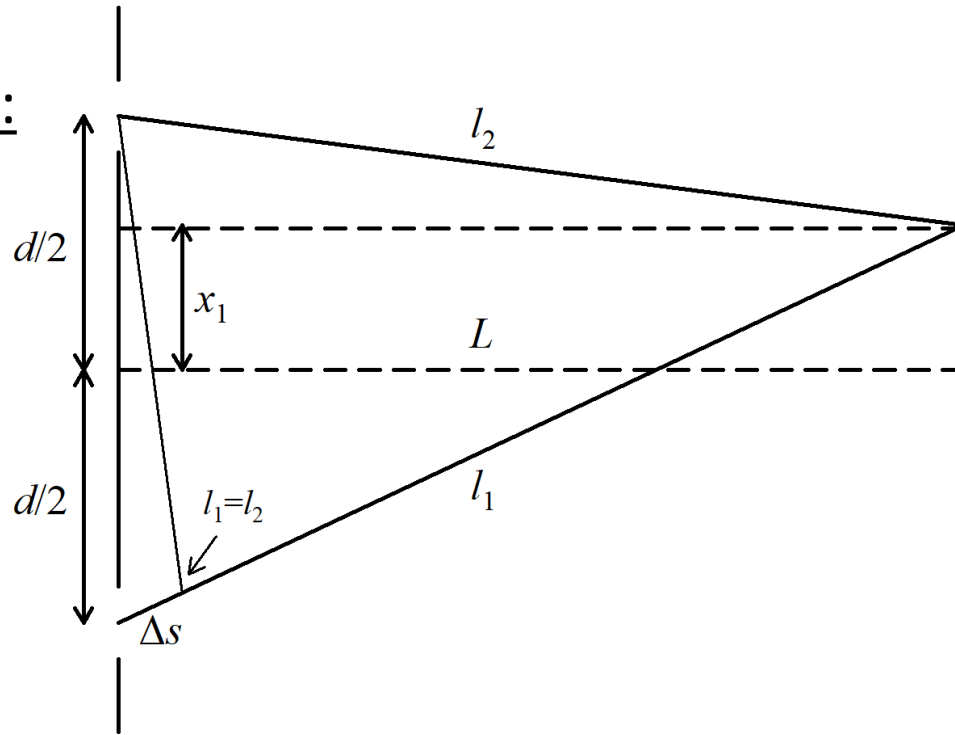


Unter dem Gangunterschied Δs verstehen wir die Differenz der optischen oder akustischen Weglängen. In unserem Fall ergibt sich:

$$\underline{\underline{\Delta s = l_1 - l_2 = 0,315\text{m}}}$$

760) Lösung c)

Skizze:



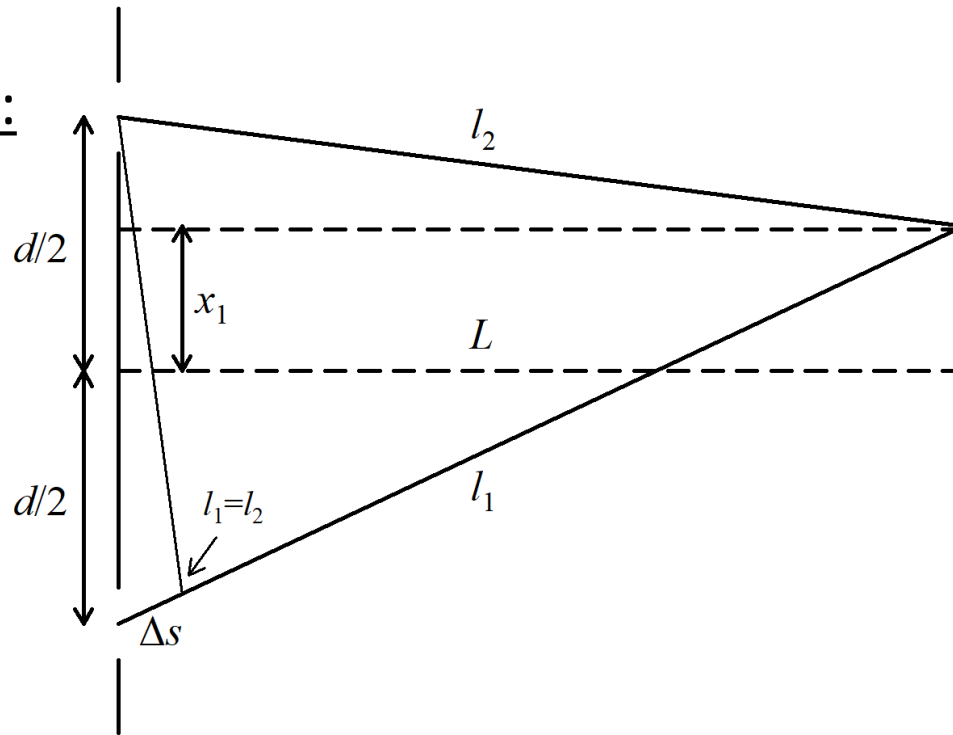
Um die Frequenz des Tons zu bestimmen möchten wir folgende Gleichung nutzen:

$$c = f \cdot \lambda$$

Wir müssen also die Wellenlänge λ herausfinden.

760) Lösung c)

Skizze:



Um die Frequenz des Tons zu bestimmen möchten wir folgende Gleichung nutzen:

$$c = f \cdot \lambda$$

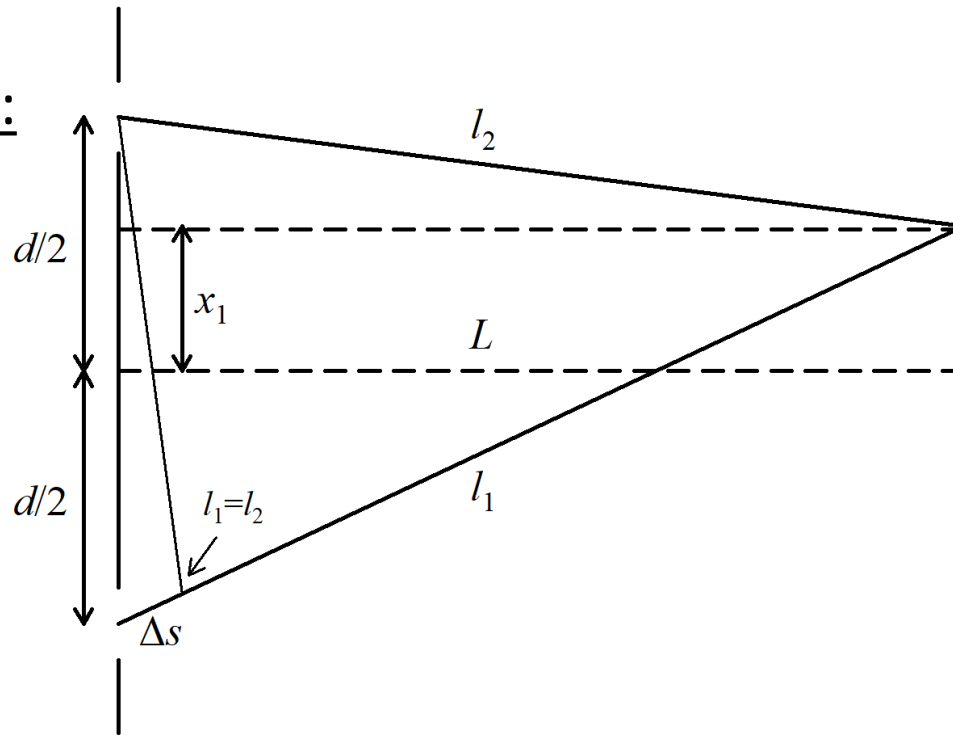
Wir müssen also die Wellenlänge λ herausfinden.

Aus der Interferenzbedingung für Maxima wissen wir, dass $\Delta s = (0, \pm 1, \pm 2, \dots) \cdot \lambda$.

Die Aufgabenstellung verrät uns, dass wir das erste Maximum beobachten. Wir können also sagen $\Delta s = \lambda$.

760) Lösung c)

Skizze:



Um die Frequenz des Tons zu bestimmen möchten wir folgende Gleichung nutzen:

$$c = f \cdot \lambda$$

Wir müssen also die Wellenlänge λ herausfinden.

Aus der Interferenzbedingung für Maxima wissen wir, dass $\Delta s = (0, \pm 1, \pm 2, \dots) \cdot \lambda$.

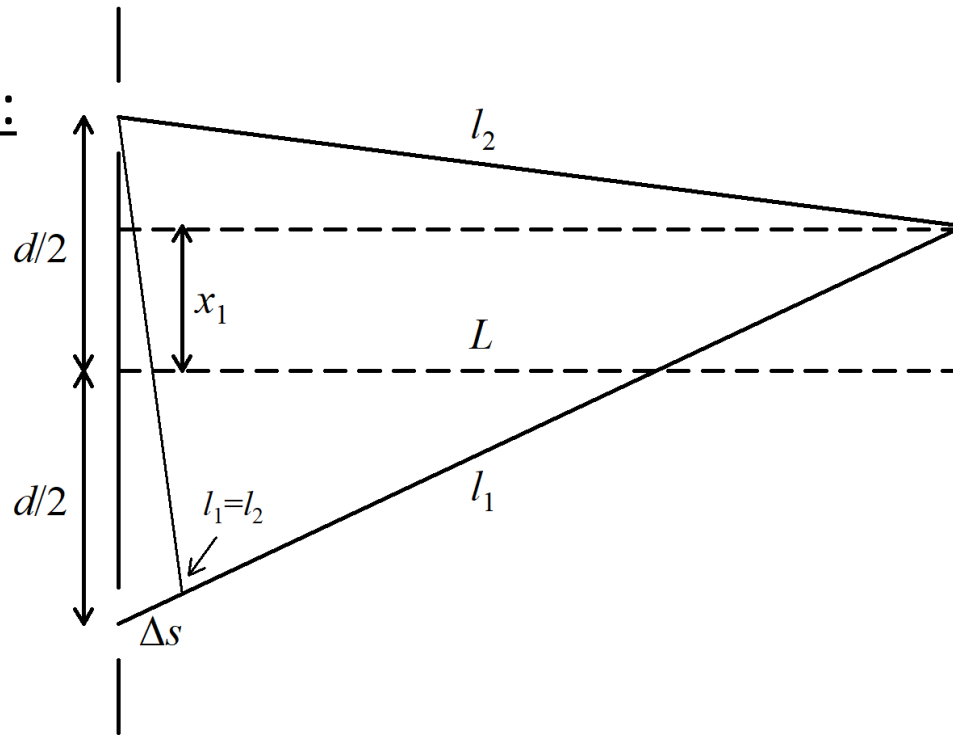
Die Aufgabenstellung verrät uns, dass wir das erste Maximum beobachten. Wir können also sagen $\Delta s = \lambda$.

Damit ergibt sich:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\Delta s} = \frac{c}{l_1 - l_2}$$

760) Lösung c)

Skizze:



(Die Frequenz des Tons C6 auf einem Klavier
in gleichstufiger Stimmung: $f \approx 1046\text{Hz}$)

Fertig 😊

Um die Frequenz des Tons zu bestimmen möchten wir folgende Gleichung nutzen:

$$c = f \cdot \lambda$$

Wir müssen also die Wellenlänge λ herausfinden.

Aus der Interferenzbedingung für Maxima wissen wir, dass $\Delta s = (0, \pm 1, \pm 2, \dots) \cdot \lambda$.

Die Aufgabenstellung verrät uns, dass wir das erste Maximum beobachten. Wir können also sagen $\Delta s = \lambda$.

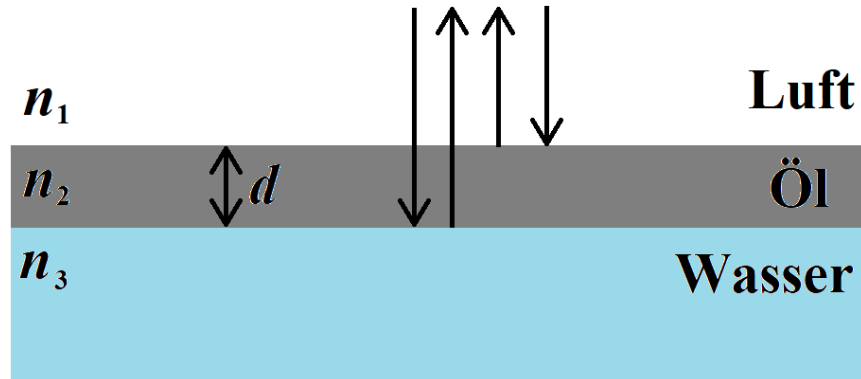
Damit ergibt sich:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\Delta s} = \frac{c}{l_1 - l_2} = 1079,36\text{Hz}$$

(nächste Aufgabe)

851) Aufgabe

Skizze:



Dicke der Ölschicht: $d = 0,7\mu\text{m}$

Brechzahl (Luft): $n_1 \approx 1,0$

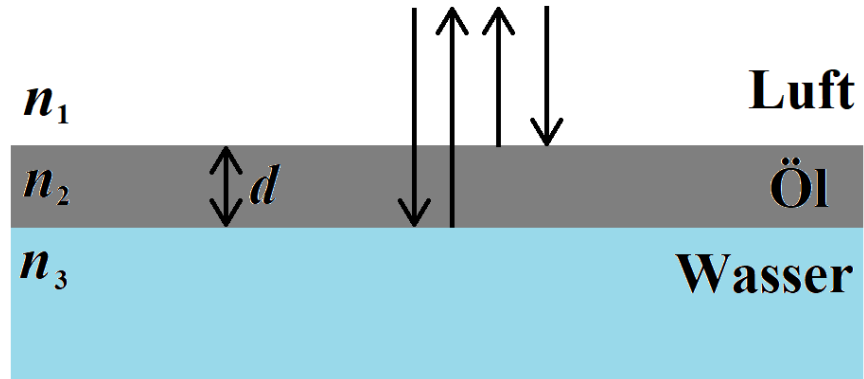
Brechzahl (Öl): $n_2 = 1,5$

Brechzahl (Wasser): $n_3 = 1,33$

Als Erstes soll in a) der Gangunterschied berechnet werden und die Grenzfläche mit Phasensprung ermittelt werden. In b) sollen die Interferenzbedingungen für verstärkende und auslöschende Überlagerung von Wellen aufgestellt werden. Anschließend muss in c) die Wellenlänge des sichtbaren Bereichs berechnet werden, die durch die Interferenz ausgelöscht werden.

851) Grundlagen

Skizze:



Gangunterschied Δs = Differenz der optischen Weglängen L :

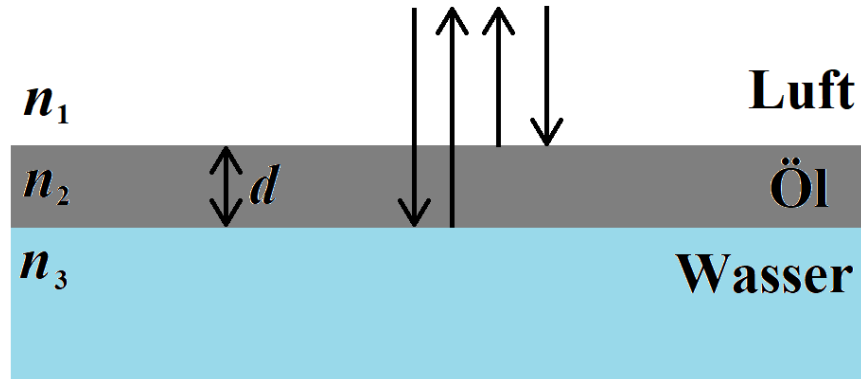
$$\Delta s = L_2 - L_1$$

$$L = n \cdot l$$

(n – Brechzahl und l – geometrische Weglänge)

851) Grundlagen

Skizze:



Gangunterschied Δs = Differenz der optischen Weglängen L :

$$\Delta s = L_2 - L_1$$

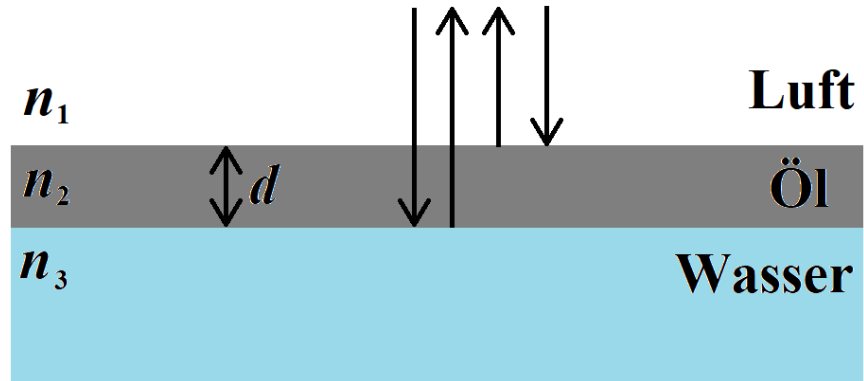
$$L = n \cdot l$$

(n – Brechzahl und l – geometrische Weglänge)

Ein Phasensprung (von $\frac{\lambda}{2}$) tritt bei der Reflexion von „Lichtstrahlen“ am optisch-dichteren Medium auf, also wenn $n_1 < n_2$.

851) Lösung a)

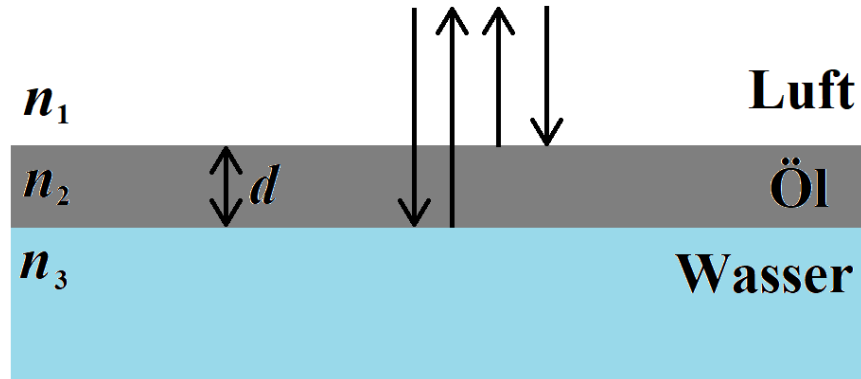
Skizze:



Zur Bestimmung des Gangunterschieds müssen wir nur ermitteln, um welche optische Weglänge der zweite Teilstrahl (der in die Ölschicht eindringt) mehr zurück legt im Vergleich zum ersten Teilstrahl (der an der Öloberfläche reflektiert wird).

851) Lösung a)

Skizze:

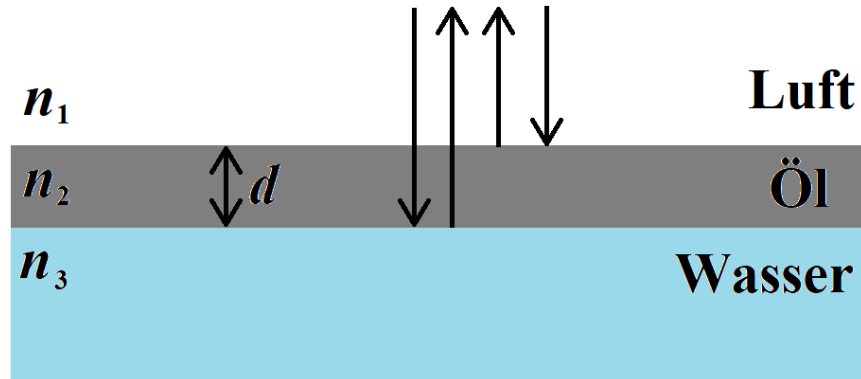


Zur Bestimmung des Gangunterschieds müssen wir nur ermitteln, um welche optische Weglänge der zweite Teilstrahl (der in die Ölschicht eindringt) mehr zurück legt im Vergleich zum ersten Teilstrahl (der an der Öloberfläche reflektiert wird).

Der zweite Teilstrahl legt im Öl die geometrische Weglänge $l = 2d$ zurück (runter, dann wieder hoch).
Demnach ist die optische Weglänge $L_2 = 2dn_2$.

851) Lösung a)

Skizze:



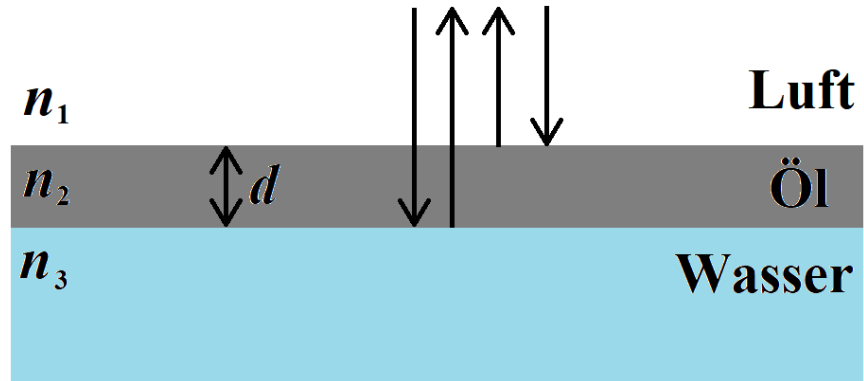
Zur Bestimmung des Gangunterschieds müssen wir nur ermitteln, um welche optische Weglänge der zweite Teilstrahl (der in die Ölschicht eindringt) mehr zurück legt im Vergleich zum ersten Teilstrahl (der an der Öloberfläche reflektiert wird).

Der zweite Teilstrahl legt im Öl die geometrische Weglänge $l = 2d$ zurück (runter, dann wieder hoch). Demnach ist die optische Weglänge $L_2 = 2dn_2$.

Damit ergibt sich der Gangunterschied zu: $\Delta S = L_2 - L_1 = 2dn_2$

851) Lösung a)

Skizze:

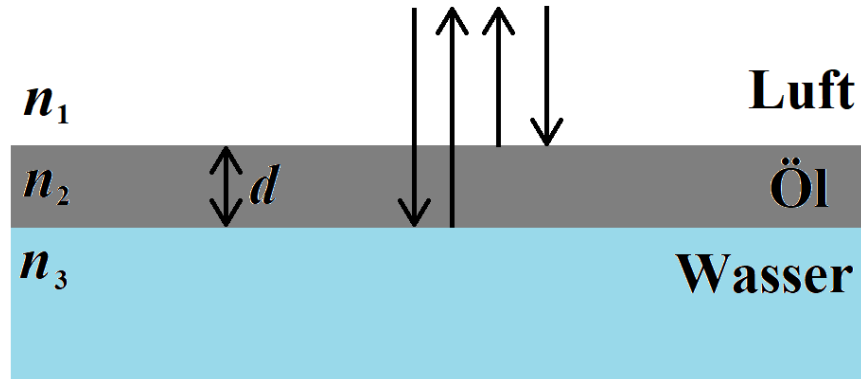


Ein Phasensprung tritt bei der Reflexion am optisch-dichteren Medium auf. Das heißt:

Grenzfläche:	Luft – Öl	Öl – Wasser
Brechzahlen:	$n_1 < n_2$	$n_2 > n_3$
Phasensprung:	Ja	Nein

851) Lösung a)

Skizze:



Ein Phasensprung tritt bei der Reflexion am optisch-dichteren Medium auf. Das heißt:

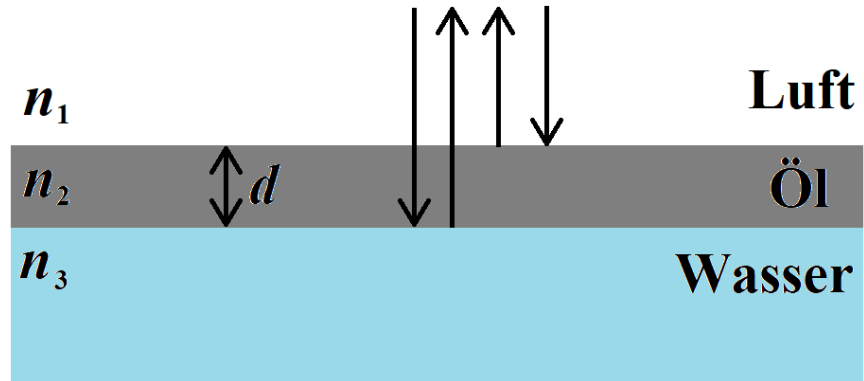
Grenzfläche:	Luft – Öl	Öl – Wasser
Brechzahlen:	$n_1 < n_2$	$n_2 > n_3$
Phasensprung:	Ja	Nein

Wir müssen den Phasensprung, den der erste Teilstrahl erfährt, natürlich in den Gangunterschied mit einrechnen. Daraus folgt:

$$\underline{\underline{\Delta s = L_2 - L_1 = 2dn_2 - \frac{\lambda}{2}}}$$

851) Lösung b)

Skizze:



Die Interferenzbedingungen für:

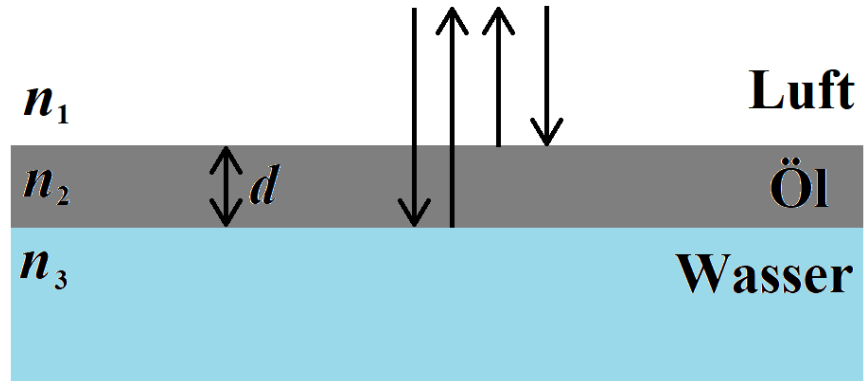
Verstärkung: $\Delta s = z \cdot \lambda$

$$z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Auslöschung: $\Delta s = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$

851) Lösung c)

Skizze:

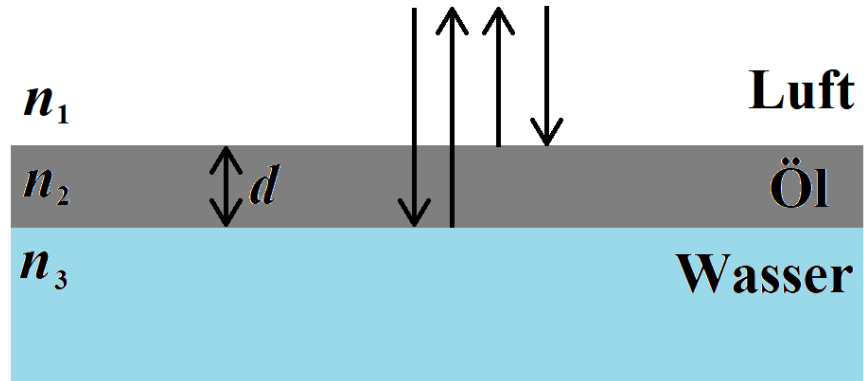


Um die Wellenlängen, die im sichtbaren Bereich ausgelöscht werden, zu berechnen, setzen wir den Gangunterschied in die Interferenzbedingungen ein:

$$2dn_2 - \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

851) Lösung c)

Skizze:



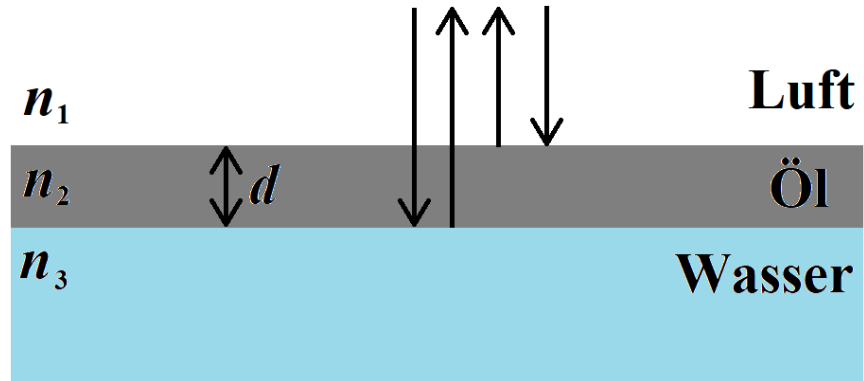
Um die Wellenlängen, die im sichtbaren Bereich ausgelöscht werden, zu berechnen, setzen wir den Gangunterschied in die Interferenzbedingungen ein:

$$2dn_2 - \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

$$\Rightarrow 2dn_2 = z\lambda + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = (z + 1) \cdot \lambda$$

851) Lösung c)

Skizze:



Um die Wellenlängen, die im sichtbaren Bereich ausgelöscht werden, zu berechnen, setzen wir den Gangunterschied in die Interferenzbedingungen ein:

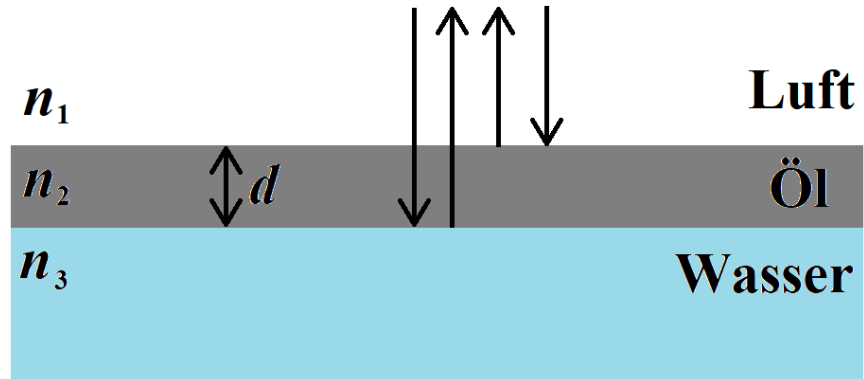
$$2dn_2 - \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

$$\Rightarrow 2dn_2 = z\lambda + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = (z + 1) \cdot \lambda$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2dn_2}{(z + 1)}$$

851) Lösung c)

Skizze:



$$\lambda = \frac{2dn_2}{(z + 1)}$$

Daraus ergeben sich die folgenden Wellenlängen für verschiedene z -Werte:

<u>z</u>	<u>λ in nm</u>
0	2100
1	1050
2	700
3	525
4	420
5	350



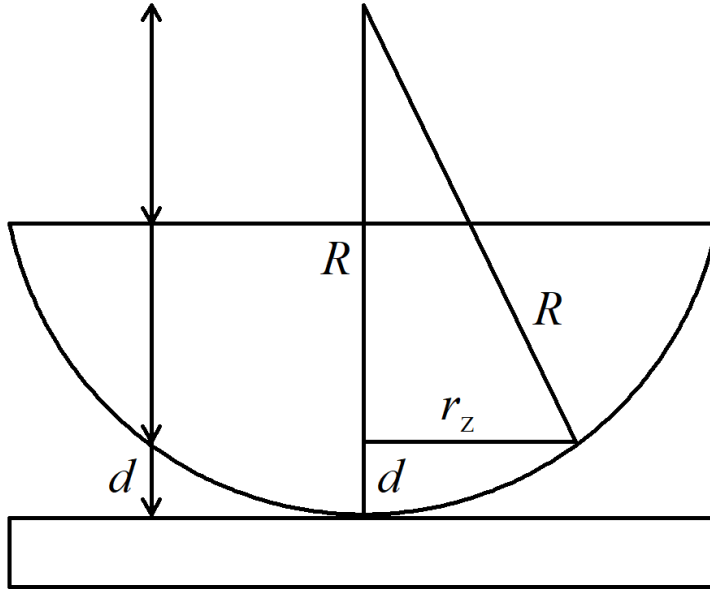
(im sichtbaren Bereich)

Fertig 😊

(nächste Aufgabe)

852) Aufgabe

Skizze:



Brechzahl:

$$n = 1,5$$

Radius des Ring 1. Ordnung:

$$r_1 = 528\mu\text{m}$$

Radius des Ring 5. Ordnung:

$$r_5 = 1180\mu\text{m}$$

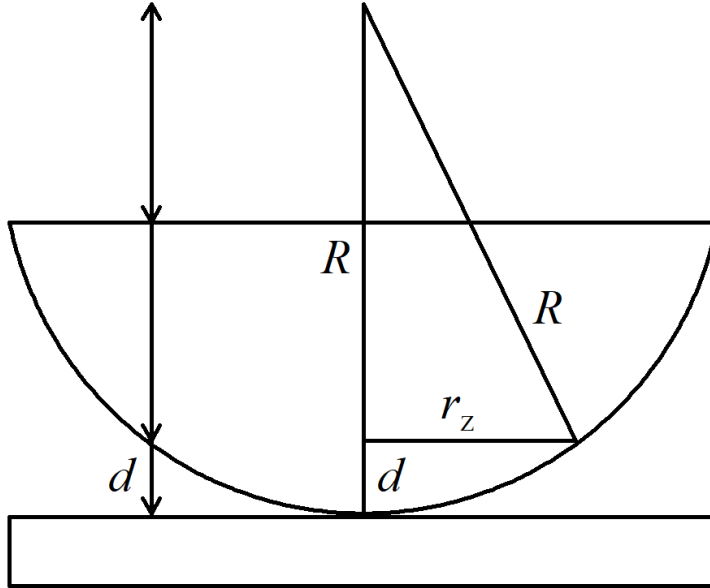
Krümmungsradius der Linse:

$$R = 350\text{mm}$$

In a) sollen zunächst die interferierenden Strahlen beschrieben. Anschließend soll in b) die Wellenlänge λ berechnet werden und in c) entschieden werden, was man im Zentrum beobachten kann.

852) Grundlagen

Skizze:



Gangunterschied Δs = Differenz der optischen Weglängen L

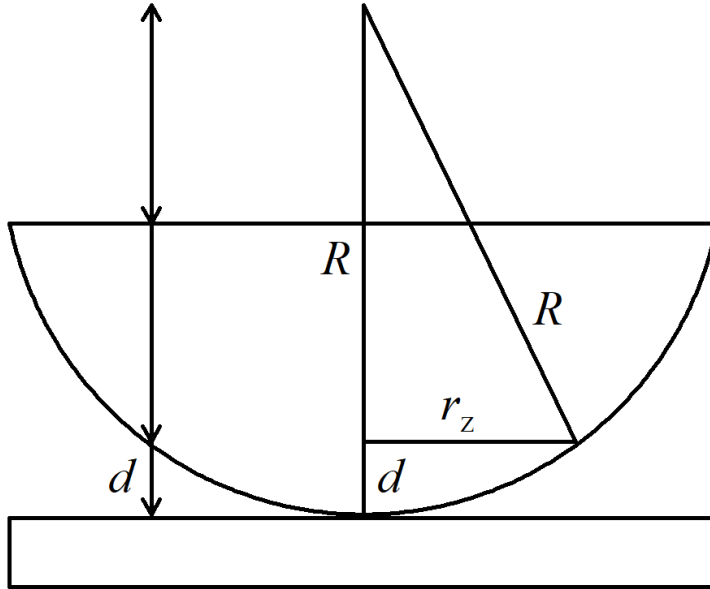
$$\Delta s = L_2 - L_1$$

$$L = n \cdot l$$

Wobei n – Brechzahl und l – geometrische Weglänge.

852) Grundlagen

Skizze:



Gangunterschied Δs = Differenz der optischen Weglängen L

$$\Delta s = L_2 - L_1$$

$$L = n \cdot l$$

Wobei n – Brechzahl und l – geometrische Weglänge.

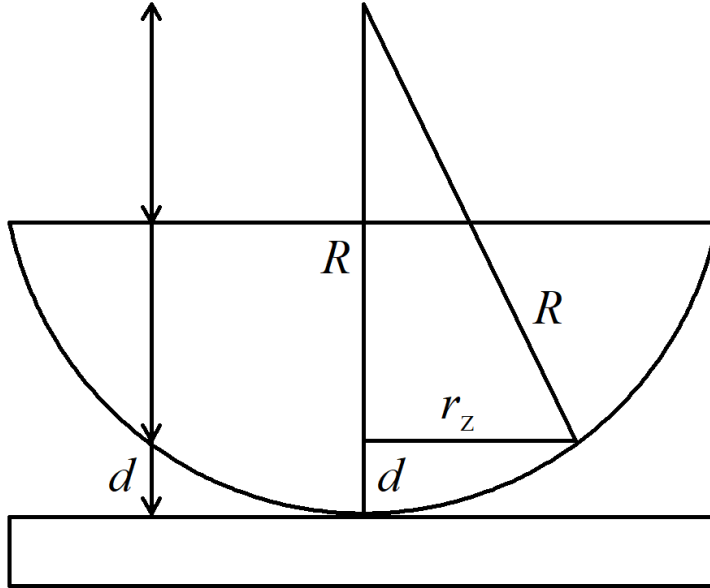
Interferenzbedingung für Auslöschung:

$$\Delta s = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$$

Wobei $z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ die Interferenzordnung ist.

852) Lösung a)

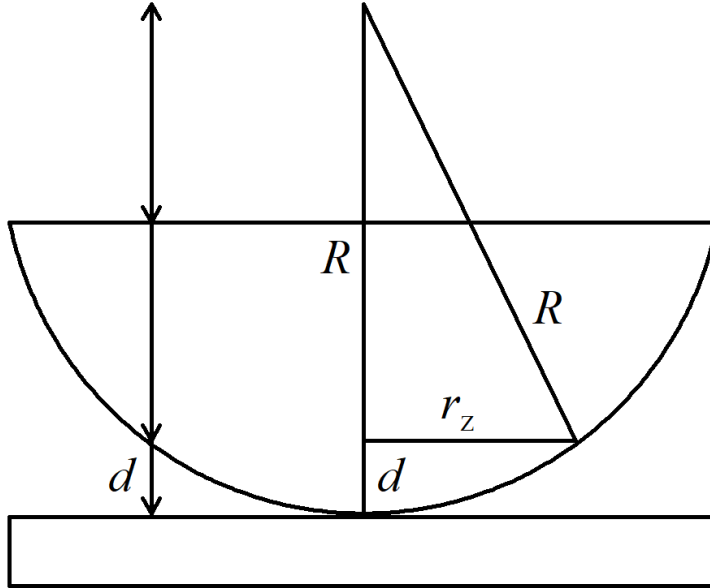
Skizze:



Das Licht tritt von oben in die Linse ein. An der unteren Kante der Linse kommt es zur Aufspaltung des Lichts in zwei Teilstrahlen.

852) Lösung a)

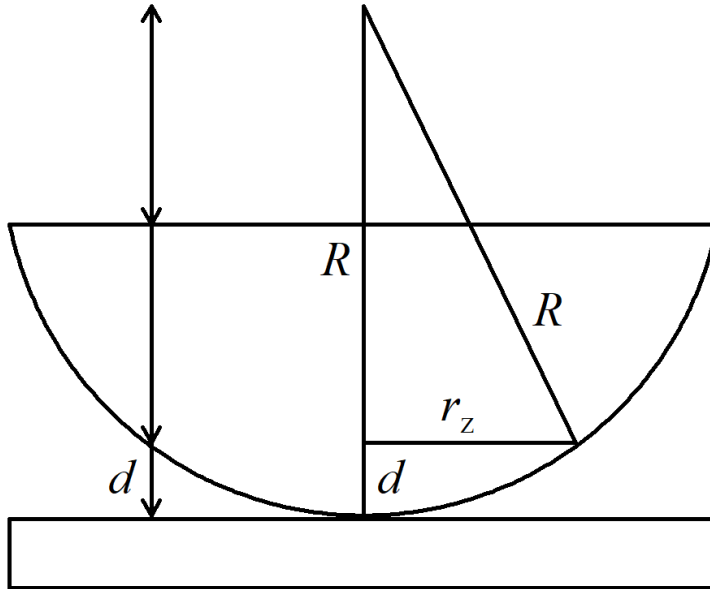
Skizze:



Das Licht tritt von oben in die Linse ein. An der unteren Kante der Linse kommt es zur Aufspaltung des Lichts in zwei Teilstrahlen.
Der erste Teilstrahl wird direkt zurück nach oben reflektiert, während der zweite Teilstrahl die Linse verlässt und weiter nach unten läuft.

852) Lösung a)

Skizze:



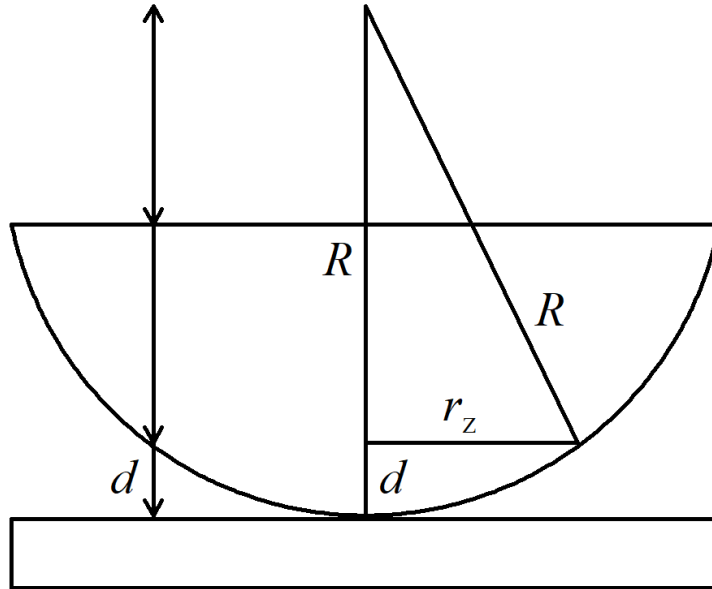
Das Licht tritt von oben in die Plinse ein. An der unteren Kante der Linse kommt es zur Aufspaltung des Lichts in zwei Teilstrahlen.

Der erste Teilstrahl wird direkt zurück nach oben reflektiert, während der zweite Teilstrahl die Linse verlässt und weiter nach unten läuft.

Der zweite Teilstrahl wird dann an der Glasplatte reflektiert (wobei ein Phasensprung auftritt, da Reflexion am optisch dichteren Medium).

852) Lösung a)

Skizze:



Das Licht tritt von oben in die Linse ein. An der unteren Kante der Linse kommt es zur Aufspaltung des Lichts in zwei Teilstrahlen.

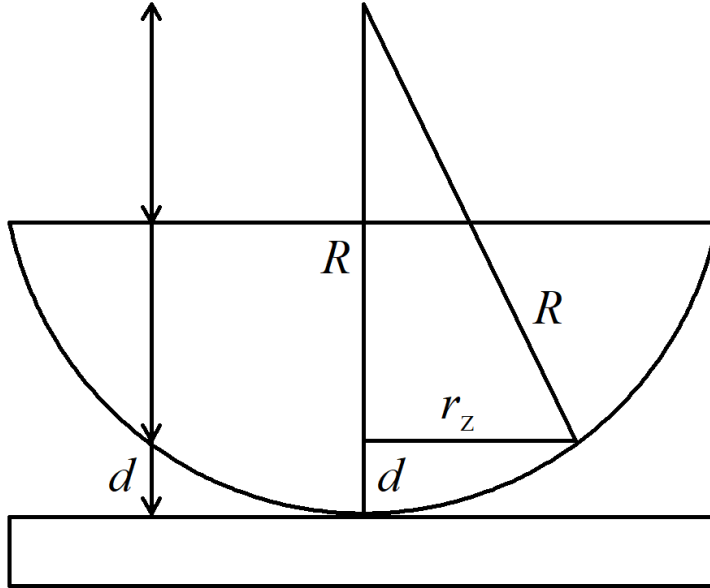
Der erste Teilstrahl wird direkt zurück nach oben reflektiert, während der zweite Teilstrahl die Linse verlässt und weiter nach unten läuft.

Der zweite Teilstrahl wird dann an der Glasplatte reflektiert (wobei ein Phasensprung auftritt, da Reflexion am optisch dichteren Medium).

Die beiden Teilstrahlen treffen dann am selben Ort wo sie sich gespalten haben wieder aufeinander und überlagern sich. Der zweite Teilstrahl hat aber im Vergleich zum ersten einen Gangunterschied, da er einen längeren Weg zurückgelegt hat, nämlich $l_2 = 2d$ (runter und wieder hoch).

852) Lösung b)

Skizze:

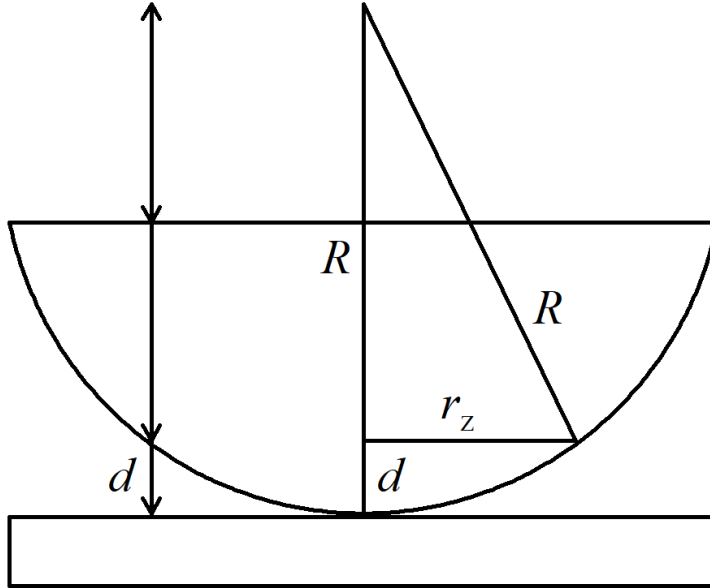


Die Wellenlänge können wir über die Interferenzbedingung bestimmen:

$$\Delta s = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$$

852) Lösung b)

Skizze:



Die Wellenlänge können wir über die Interferenzbedingung bestimmen:

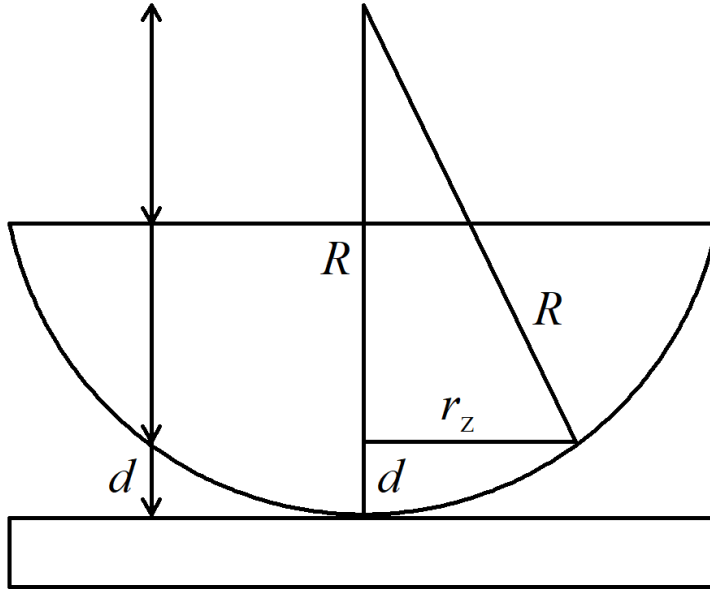
$$\Delta s = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$$

Nun müssen wir den Gangunterschied herausfinden.

$$\Delta s = L_2 - L_1 = n \cdot l_2 - n \cdot l_1$$

852) Lösung b)

Skizze:



Die Wellenlänge können wir über die Interferenzbedingung bestimmen:

$$\Delta s = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$$

Nun müssen wir den Gangunterschied herausfinden.

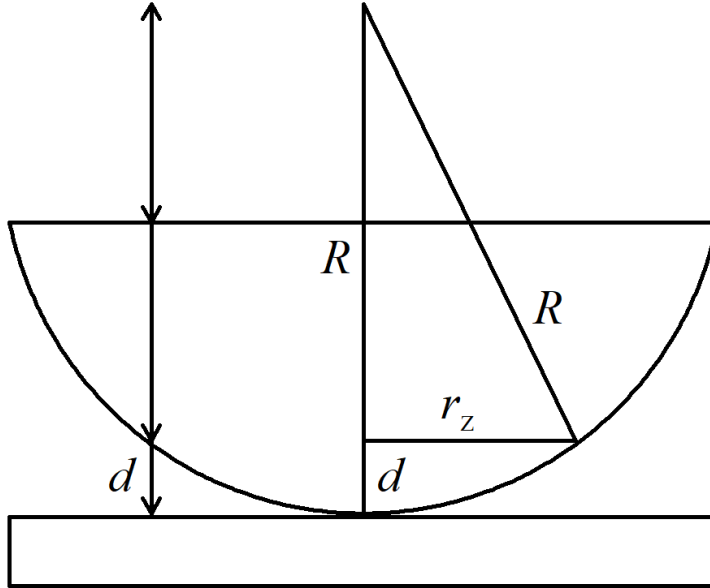
$$\Delta s = L_2 - L_1 = n \cdot l_2 - n \cdot l_1$$

Die Brechzahl von Luft ist $n \approx 1$ und $l_1 = 0$. Zusätzlich tritt ein Phasensprung von $\frac{\lambda}{2}$ durch die Reflexion an der Glasplatte auf.

$$\Rightarrow \Delta s = n \cdot l_2 = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

852) Lösung b)

Skizze:

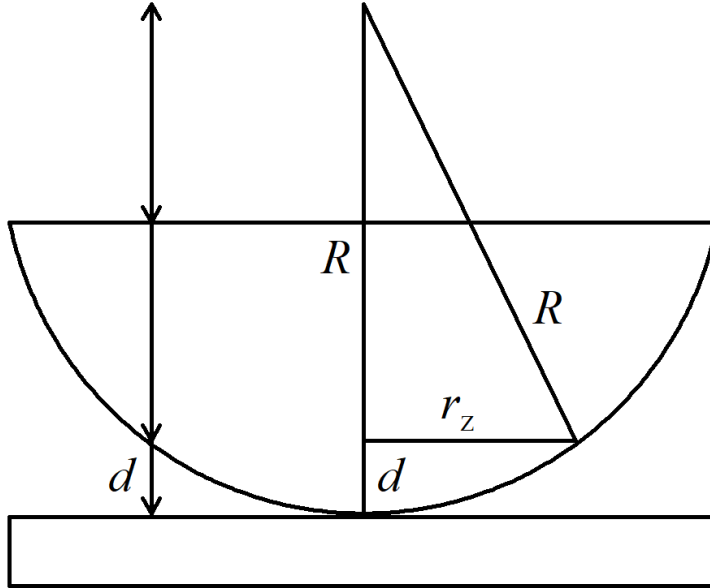


Setzen wir nun beide Gleichungen gleich erhalten wir:

$$2d + \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda$$

852) Lösung b)

Skizze:



Setzen wir nun beide Gleichungen gleich erhalten wir:

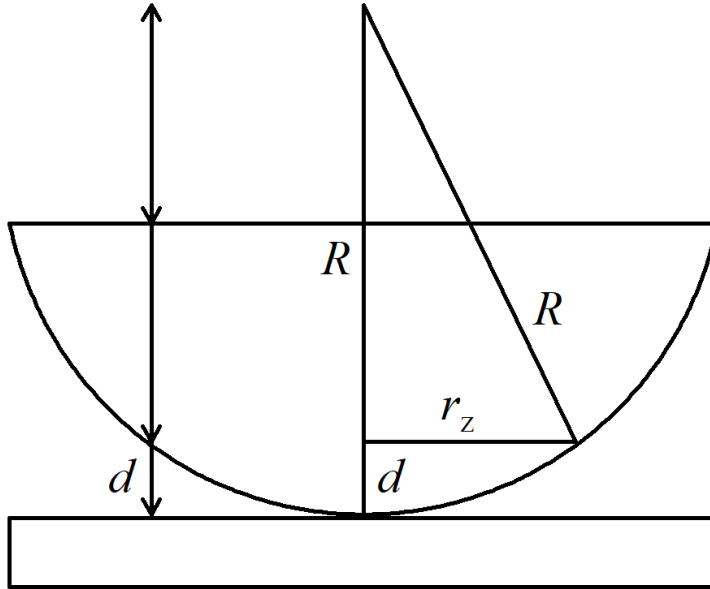
$$2d + \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

(ausmultiplizieren)

$$2d + \frac{\lambda}{2} = z\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

852) Lösung b)

Skizze:



Setzen wir nun beide Gleichungen gleich erhalten wir:

$$2d + \frac{\lambda}{2} = \left(z + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

(ausmultiplizieren)

$$2d + \frac{\lambda}{2} = z\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

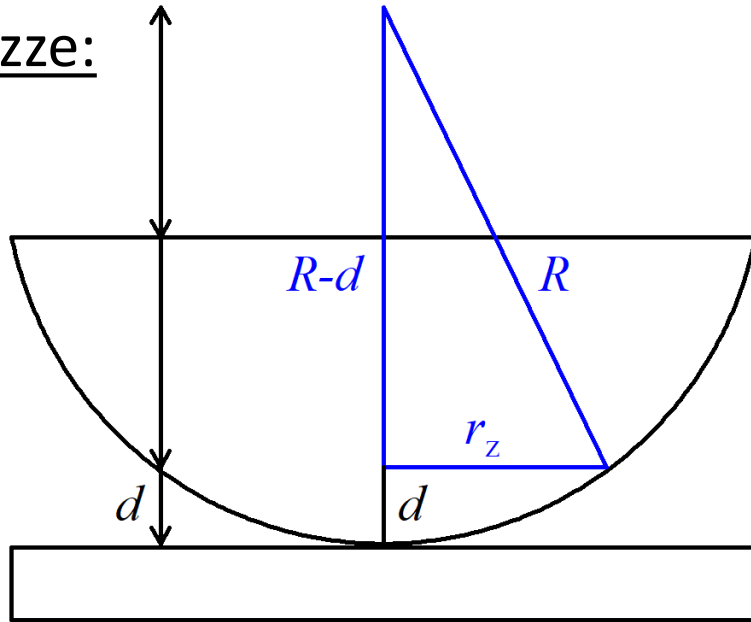
$$\lambda = \frac{2d}{z}$$

(umstellen)

z erhalten wir aus der Aufgabenstellung ($r_{z=1}$ oder $r_{z=5}$), wir müssen also als nächstes d berechnen.

852) Lösung b)

Skizze:

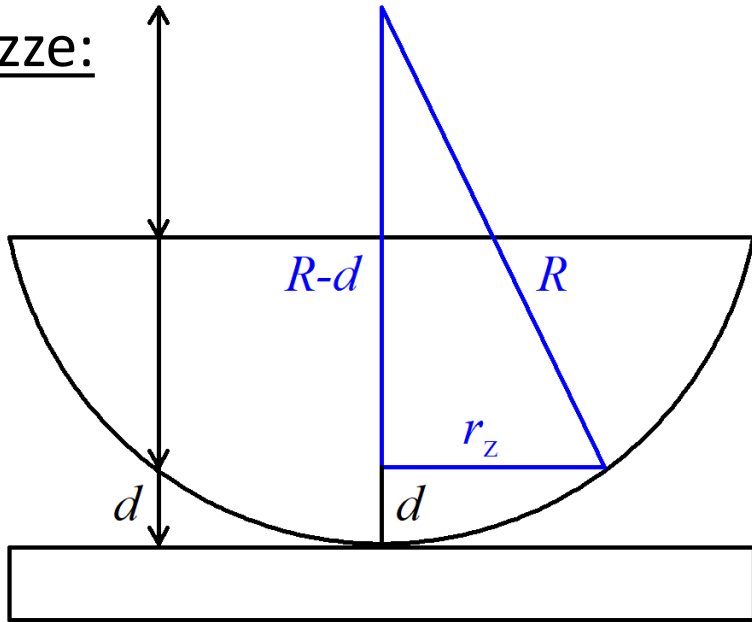


Wir können d über den Satz des Pythagoras am blauen Dreiecks bestimmen:

$$r_z^2 + (R - d)^2 = R^2$$

852) Lösung b)

Skizze:



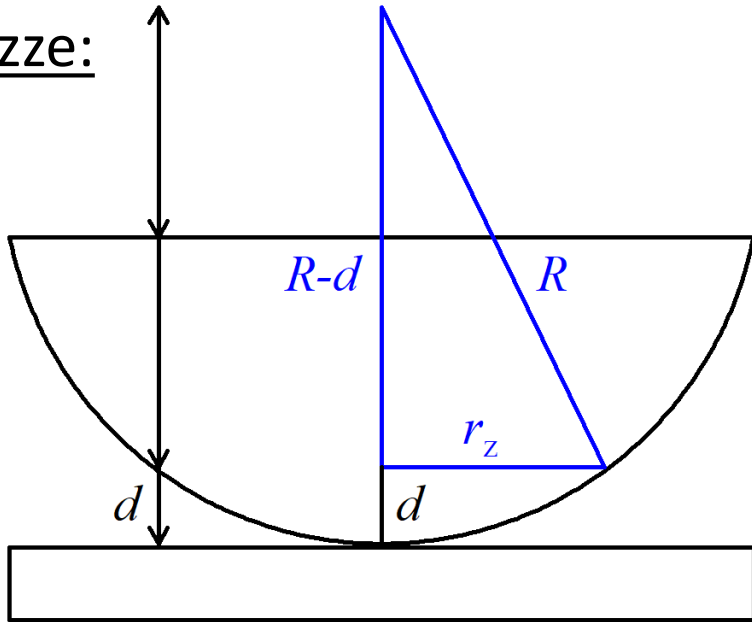
Wir können d über den Satz des Pythagoras am blauen Dreiecks bestimmen:

$$r_z^2 + (R - d)^2 = R^2$$

$$\Rightarrow (R - d) = \sqrt{R^2 - r_z^2}$$

852) Lösung b)

Skizze:



Wir können d über den Satz des Pythagoras am blauen Dreiecks bestimmen:

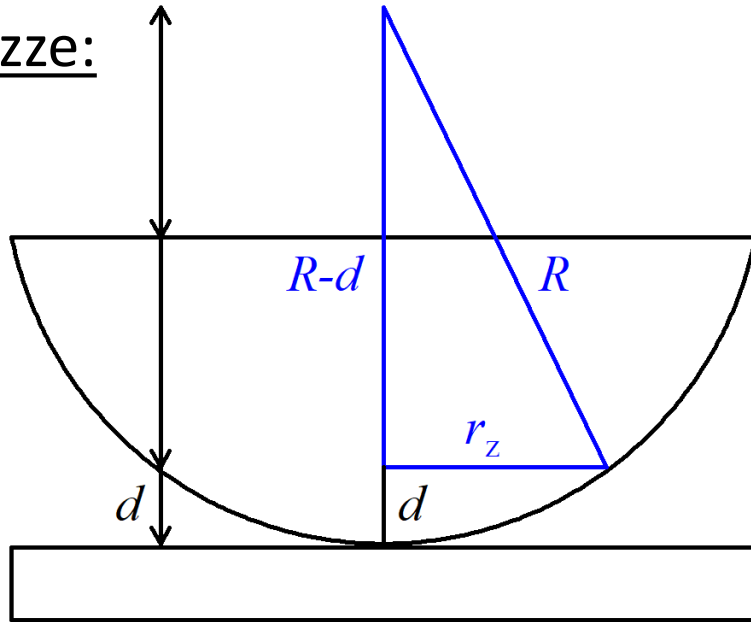
$$r_z^2 + (R - d)^2 = R^2$$

$$\Rightarrow (R - d) = \sqrt{R^2 - r_z^2}$$

$$\Rightarrow d = R - \sqrt{R^2 - r_z^2}$$

852) Lösung b) – Alternative

Skizze:



Um d zu berechnen, betrachten wir das blaue Dreieck. Der Satz des Pythagoras lautet hier:

$$r_z^2 + (R - d)^2 = R^2$$

Aus dieser quadratischen Gleichung wollen wir nun d bestimmen.

$$r_z^2 + R^2 - 2Rd + d^2 = R^2$$

(umstellen)

$$0 = d^2 - 2Rd + r_z^2$$

(p-q-Formel)

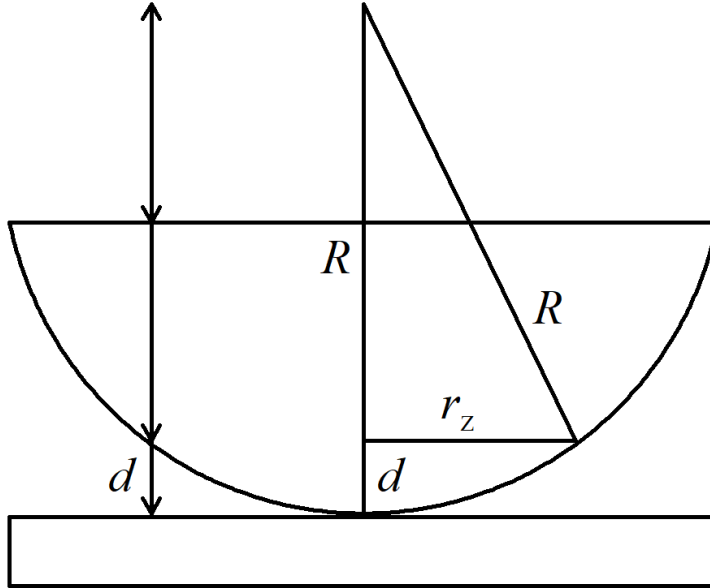
$$\Rightarrow d_{1,2} = R \pm \sqrt{R^2 - r_z^2}$$

$$\Rightarrow d = R - \sqrt{R^2 - r_z^2}$$

(Die Frage ob wir “+” oder “-” in der Lösung benutzen sollten lässt sich damit klären, dass d nicht größer sein kann als R und somit “+” rausfällt.)

852) Lösung b)

Skizze:



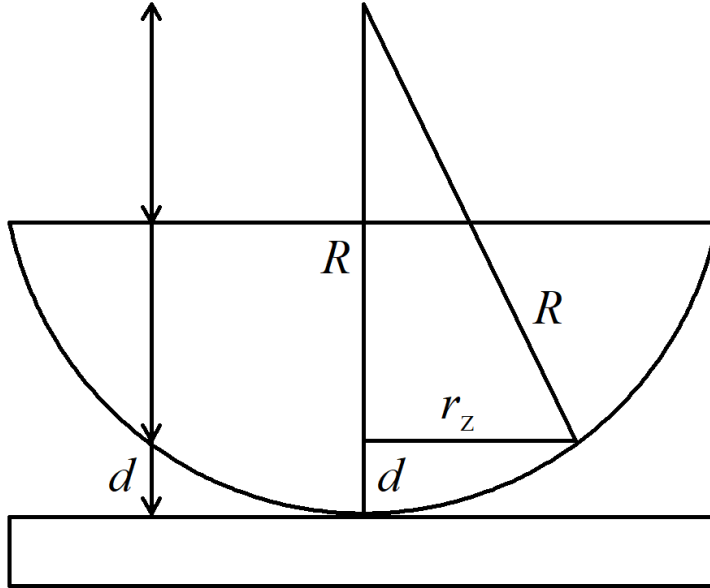
Setzen wir dieses Ergebnis nun in unsere Gleichungen für λ ein, ergibt sich:

$$\lambda = \frac{2d}{z}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2}{z} \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - r_z^2} \right)$$

852) Lösung b)

Skizze:



Setzen wir dieses Ergebnis nun in unsere Gleichungen für λ ein, ergibt sich:

$$\lambda = \frac{2d}{z}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2}{z} \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - r_z^2} \right)$$

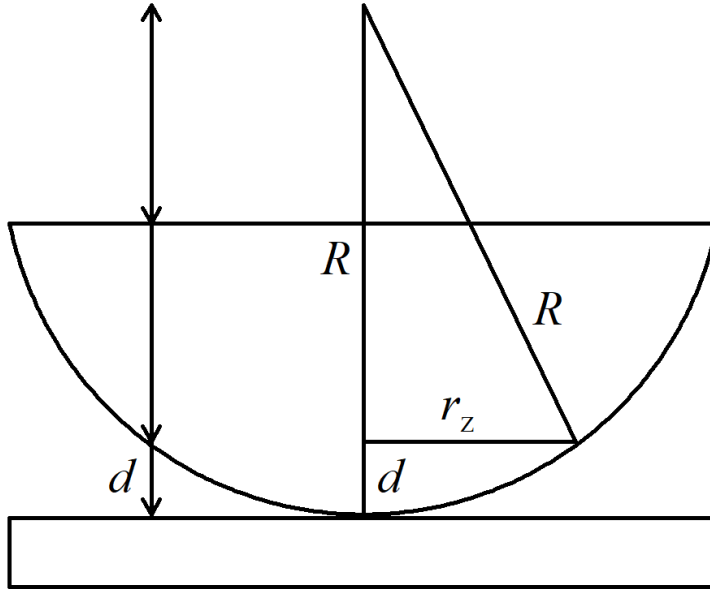
Diese Gleichung können wir als eine Art lineare Funktion ansehen:

$$R - \sqrt{R^2 - r_z^2} = \frac{1}{2} \lambda \cdot z$$

$$(f(x) = m \cdot x)$$

852) Lösung b)

Skizze:

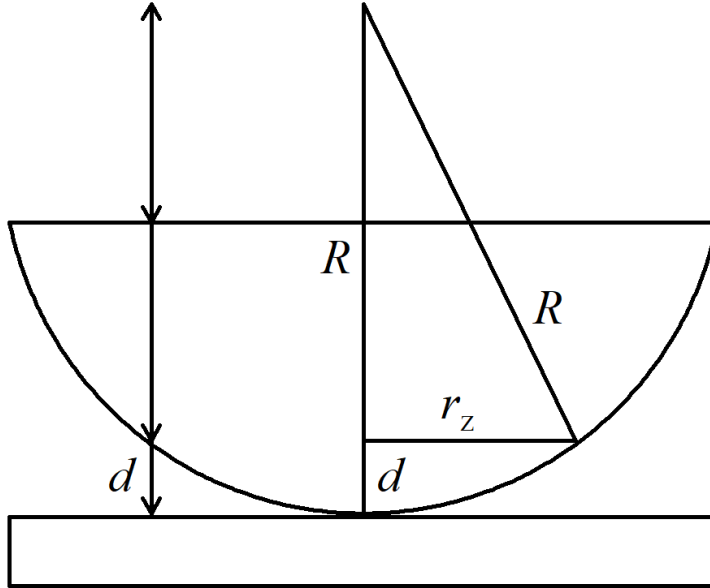


Der Anstieg dieser lineare Funktion entspricht:

$$\frac{1}{2}\lambda = \frac{\left(R - \sqrt{R^2 - r_5^2}\right) - \left(R - \sqrt{R^2 - r_1^2}\right)}{5 - 1}$$

852) Lösung b)

Skizze:



Der Anstieg dieser lineare Funktion entspricht:

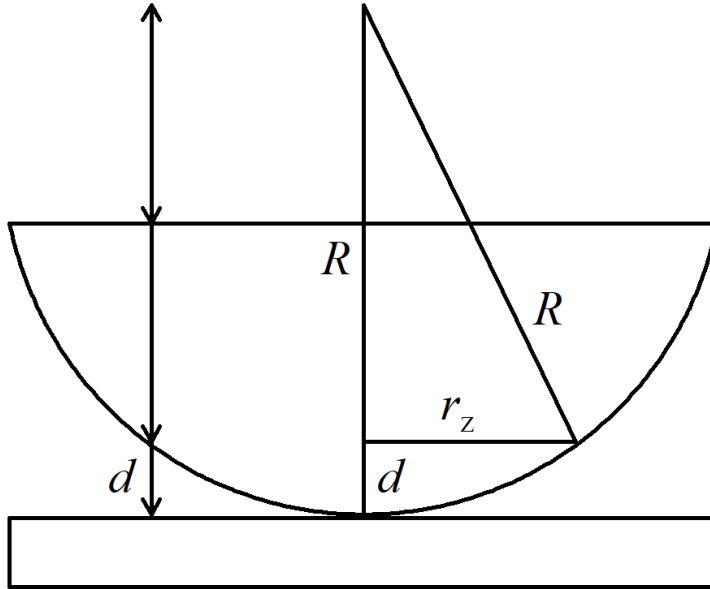
$$\frac{1}{2}\lambda = \frac{\left(R - \sqrt{R^2 - r_5^2}\right) - \left(R - \sqrt{R^2 - r_1^2}\right)}{5 - 1}$$

Daraus folgt für die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\sqrt{R^2 - r_1^2} - \sqrt{R^2 - r_5^2} \right)$$

852) Lösung b)

Skizze:



Der Anstieg dieser lineare Funktion entspricht:

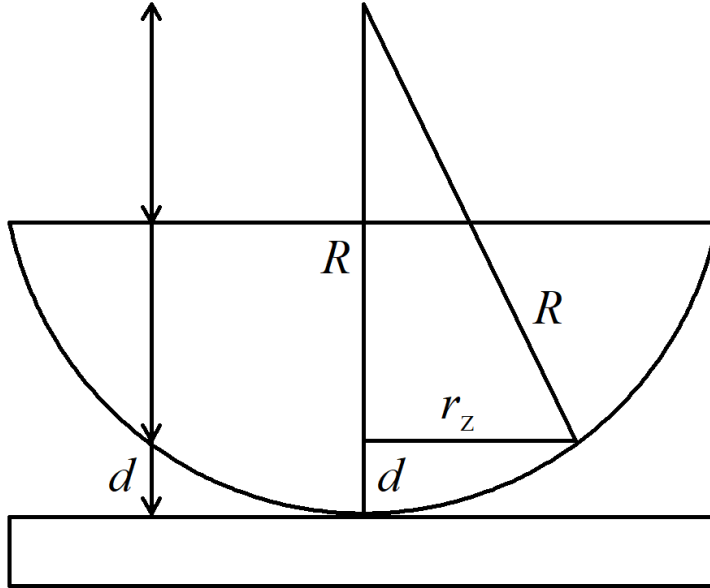
$$\frac{1}{2}\lambda = \frac{\left(R - \sqrt{R^2 - r_5^2}\right) - \left(R - \sqrt{R^2 - r_1^2}\right)}{5 - 1}$$

Daraus folgt für die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\sqrt{R^2 - r_1^2} - \sqrt{R^2 - r_5^2} \right) = 795,443\text{nm}$$

852) Lösung c)

Skizze:

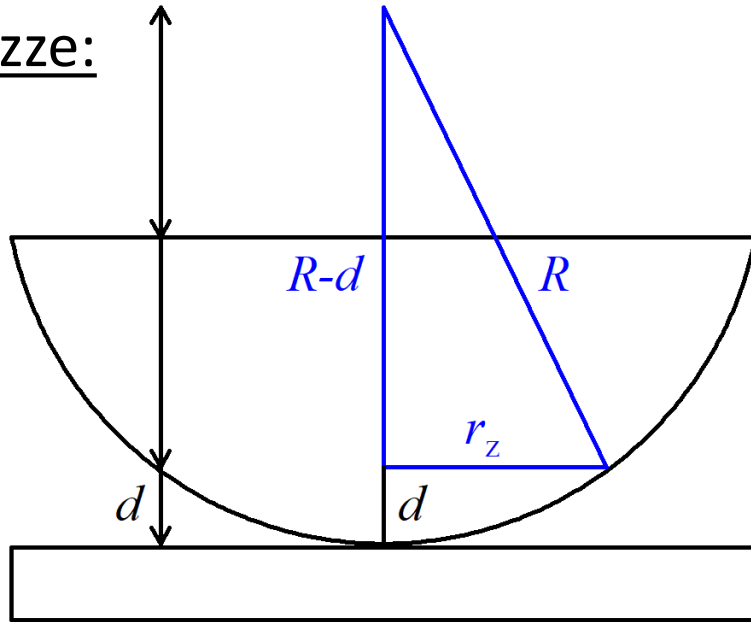


Im Zentrum ergibt sich ein dunkler Fleck, da $d = 0$ und damit die Interferenzbedingung für Auslöschung erfüllt ist.

Fertig 😊

852) Lösung b) – Alternative, Vereinfachung

Skizze:



Aus der Auslöschungsbedingung und dem Gangunterschied folgt:

$$2d = \lambda z$$

Wir berechnen d über den Pythagoras:

$$r_z^2 + (R - d)^2 = R^2$$

$$\Rightarrow r_z^2 + R^2 - 2Rd + d^2 = R^2$$

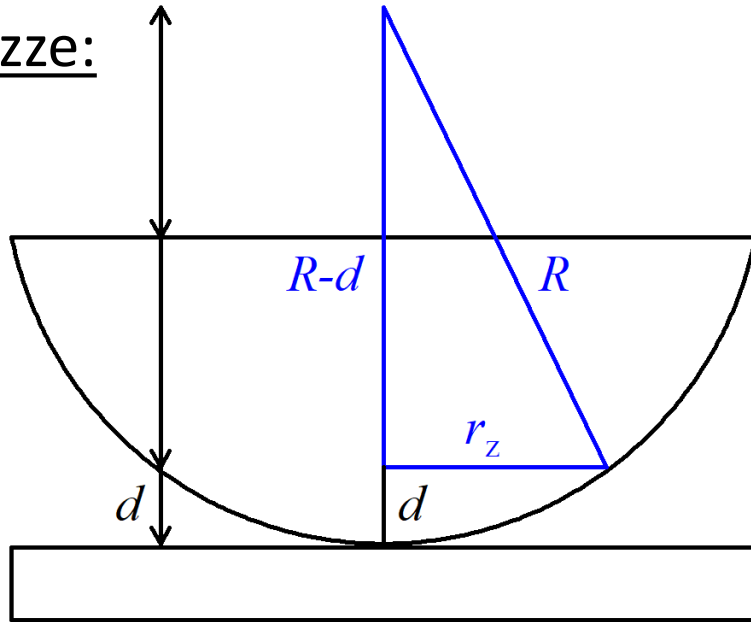
$$\Rightarrow 0 = d^2 - 2Rd + r_z^2 = -d(2R - d) + r_z^2$$

Da $2R \gg d$ gilt, können wir den Ausdruck vereinfachen zu: $2R - d \approx 2R$

$$\Rightarrow 0 = -2Rd + r_z^2 \quad \Rightarrow d = \frac{r_z^2}{2R}$$

852) Lösung b) – Alternative, Vereinfachung

Skizze:



Einsetzen von d liefert:

$$(f(x) = m \cdot x)$$

$$\frac{r_z^2}{R} = \lambda z \quad \implies r_z^2 = R\lambda \cdot z$$

Der Anstieg dieser lineare Funktion entspricht:

$$R\lambda = \frac{r_5^2 - r_1^2}{5 - 1}$$

Daraus folgt für die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{r_5^2 - r_1^2}{4R} = 795,44\text{nm}$$