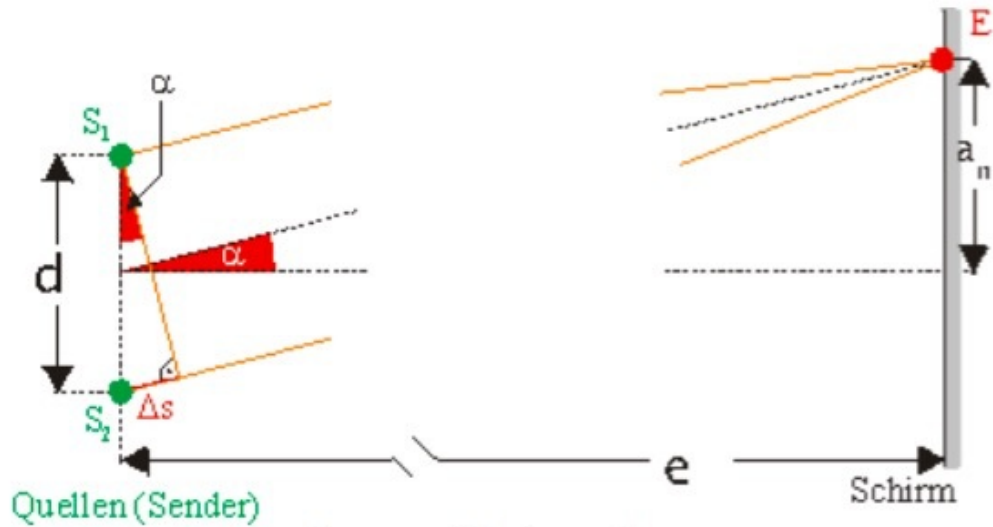


Berechnung des Gangunterschiedes bei der Zwei-Quellen-Interferenz (z.B. Doppelspalt)



Im \$n\$-ten Maximum gilt:

$$\Delta s = n \cdot \lambda = d \cdot \sin(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) = \frac{a_n}{e}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{d \cdot a_n}{n \cdot e} \quad \text{mit } n=0,1,2,\dots$$

$$\Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{6,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 4,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$c = \lambda f$$

$$2 \cdot a_2 = 6,5 \text{ cm} \Rightarrow a_2$$

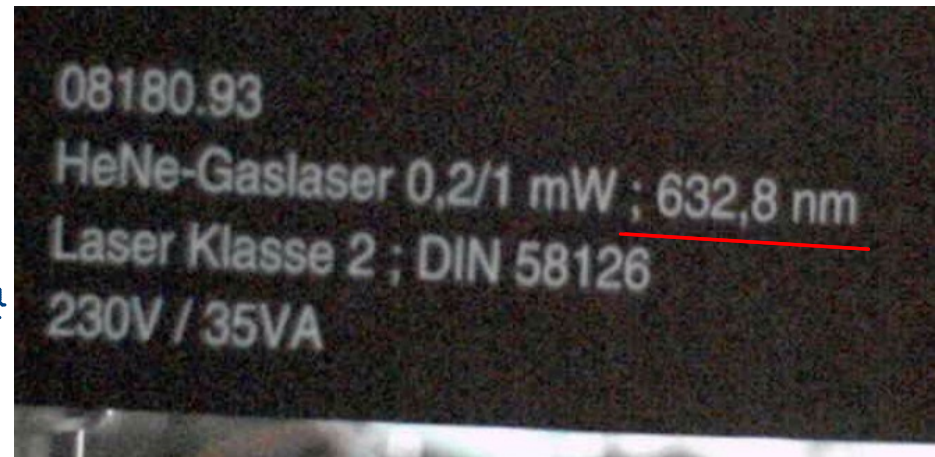
$$e = 779 \text{ cm}$$

$$d = 0,3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \lambda = 6,26 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

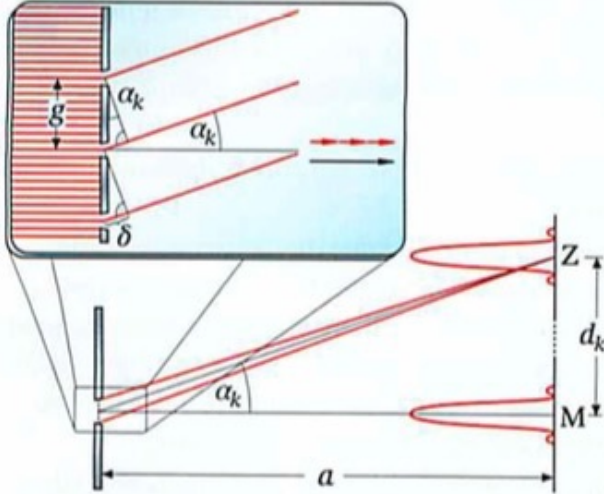
$$= 626 \cdot 10^{-9} \text{ mm}$$

$$= \underline{\underline{626 \text{ nm}}}$$



$$(\Delta s = \delta)$$

Vom Doppelspalt zum Gitter



B2 Beim Gangunterschied $\delta = k \cdot \lambda$ kommen alle Wellen in M bzw. Z gleichphasig an, die Amplituden der Wellen addieren sich. In den anderen Richtungen erhält man nur geringe Intensitäten.

Diese Nachteile des Doppelspalts beseitigt ein Mehrfachspalt, ein **optisches Gitter**. Es besteht aus sehr vielen engen Spalten, die in gleichen Abständen angeordnet sind. Der Abstand zwischen benachbarten Spaltmitten heißt **Gitterkonstante** g . Fällt ein Laserstrahl senkrecht auf ein Gitter, zeigen sich auf dem Schirm scharfe Lichtflecke in fast gleichen Abständen.

Diese **Helligkeitsmaxima** sind umso schmaler und lichtstärker, je größer die Zahl der an der Interferenz beteiligten Spalten ist \rightarrow **V1**. Bei fünf Spalten finden sich im Beugungsbild zwischen zwei Helligkeitsmaxima, vier Dunkelstellen und drei Nebenmaxima kleiner Intensität. Je kleiner die Gitterkonstante g , desto größer wird der Abstand der Helligkeitsmaxima.

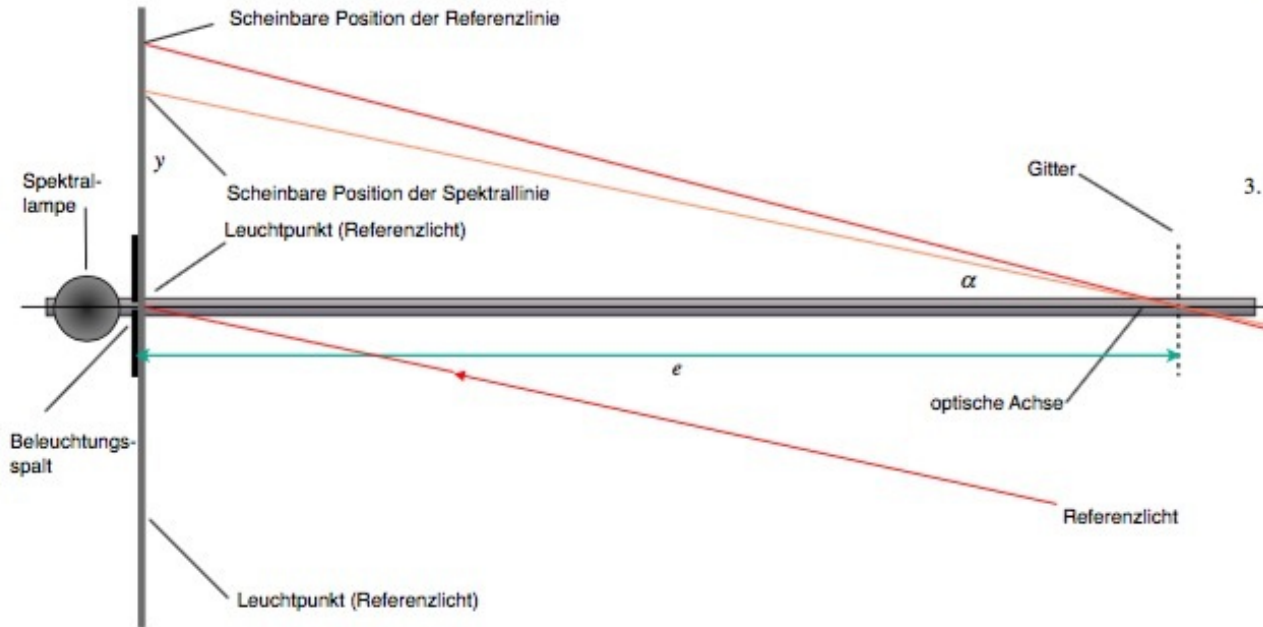
$$g \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda \quad \text{und} \quad a \cdot \tan \alpha_k = d_k.$$

Mit unseren Variablennamen:

$$g \cdot \sin \alpha_n = n \cdot \lambda \quad \text{und} \quad e \cdot \tan \alpha_n = a_n$$
$$\Rightarrow \lambda = \frac{g \cdot \sin(\tan^{-1}(\frac{a_n}{e}))}{n} \quad \Leftrightarrow \alpha_n = \tan^{-1}\left(\frac{a_n}{e}\right)$$

Exp: $e = 29,6 \text{ cm}$
 $2 a_n = 23 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 635 \text{ nm}$
 $g = \frac{1}{570/\text{mm}}$

Virtuelle Interferenzmuster bei Durchsicht



2. Auf die Mitte des Maßstabs wird ein Laserstrahl mit bekannter Wellenlänge $\lambda = 632,8\text{nm}$ geleitet („Referenzlicht“). Die Entfernung e zwischen Spalt und Gitter betrage $e=85,5\text{cm}$, das Maximum 1. Ordnung des Referenzlichts beobachtet man auf Maßstab bei $y=32,1\text{cm}$.

Bestimme den Spaltabstand d des Gitters!

Zur Kontrolle: Auf dem Gitter ist der Wert $5700/\text{cm}$ aufgedruckt.

3. Man kann in diesem Experiment mindestens drei Spektrallinien des Wasserstoffs erkennen, sie liegen bei $y=21,4\text{cm}$, $y=24,3\text{cm}$ und $y=33,5\text{cm}$.

Berechne die Wellenlängen der zugehörigen Spektrallinien und ordne sie Farben zu.

$y (=a_1)$	e	λ	$y (=a_1)$	e	λ	Literatur:			
21,4	85,5	4,25E-07	9,2	36,5	4,29E-07	435,83 nm			
24,3	85,5	4,78E-07	11,9	36,5	5,44E-07	546,07 nm			
33,5	85,5	6,38E-07	12,6	36,5	5,72E-07	576,96 nm	579,07 nm	Doppellinie	
Aufg. 2.3. Abi 2015			Exp. mit Hg-Lampe						

Auf einer CD werden Informationen digital in der so genannten Datenspirale, einer spiralförmigen Rille (Groove) in der CD, durch unterschiedlich lange Vertiefungen (Pits) gespeichert, die sich mit einem Laser im CD-Player auslesen lassen. Zwischen den Rillen der Datenspirale bleibt ein ebenfalls spiralförmig angeordneter, erhöhter und reflektierender Steg (Land) stehen.

Um Informationen über die Dichte der Rillen bzw. den Rillenabstand oder der damit identischen Dichte der Stege bzw. den Stegabstand einer CD zu gewinnen, wird diese in einem Experiment mit monochromatischem Licht der Wellenlänge $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ bestrahlt.

a) Beschreiben Sie das vorgeführte Experiment und stellen Sie die Intensitätsverteilung auf dem Schirm in einer Zeichnung dar.

Skizzieren Sie kurz ein Ihnen bekanntes Experiment, das ein entsprechendes Interferenzbild zeigt.

b) Erklären Sie unter Nutzung einer sorgfältig angelegten Zeichnung qualitativ die Entstehung der Interferenzmaxima und der Bereiche schwacher Lichtintensität zwischen den Maxima.

6.2.1 Modelllösungen I. Aufgabe

a) Die Versuchsbeschreibung erfolgt gemäß Bild 1. Dabei sollte deutlich werden, dass der Laserstrahl senkrecht auf die CD fällt. Bild 3 veranschaulicht die Intensitätsverteilung: Es zeigen sich scharf ausgeprägte Intensitätsmaxima (Hauptmaxima). Die Intensitätsverteilung entspricht der Intensitätsverteilung der Gitterbeugung mit kleiner Gitterkonstante.

b) Die spiralförmig und sehr dicht angeordneten Rillen und die dazwischen liegenden Stege der CD bilden ein Reflexionsgitter. Das Interferenzmuster kommt dadurch zustande, dass gemäß Bild 2 an benachbarten Stegen reflektierte Wellenzüge gegeneinander phasenverschoben auf dem Schirm zur Interferenz kommen, wobei die Phasenverschiebung winkelabhängig ist. Die intensiven Maxima treten genau dann auf, wenn der Gangunterschied benachbarter Wellenzüge ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Wenn diese Bedingung nicht genau erfüllt ist, ist der 2. Wellenzug gegenüber dem ersten um einen Winkel δ phasenverschoben, der dritte gegenüber dem ersten um 2δ usw. Weil wegen der Dichte der Stege die Anzahl der miteinander interferierenden Wellenzüge sehr groß ist, findet man bei nicht zu kleinem δ zu jedem Wellenzug einen zweiten, mit dem er einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge hat und sich praktisch auslöscht.

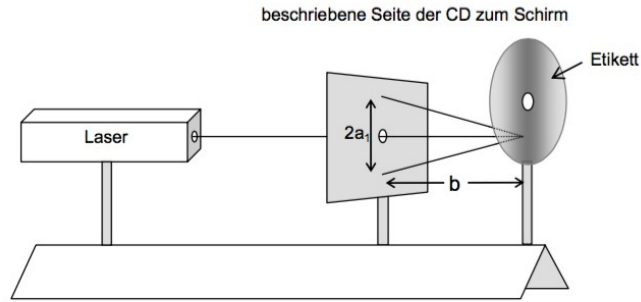


Bild 1

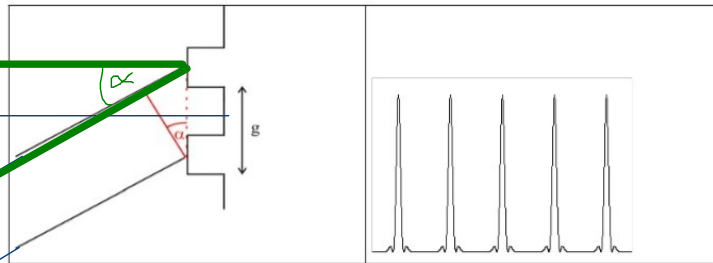
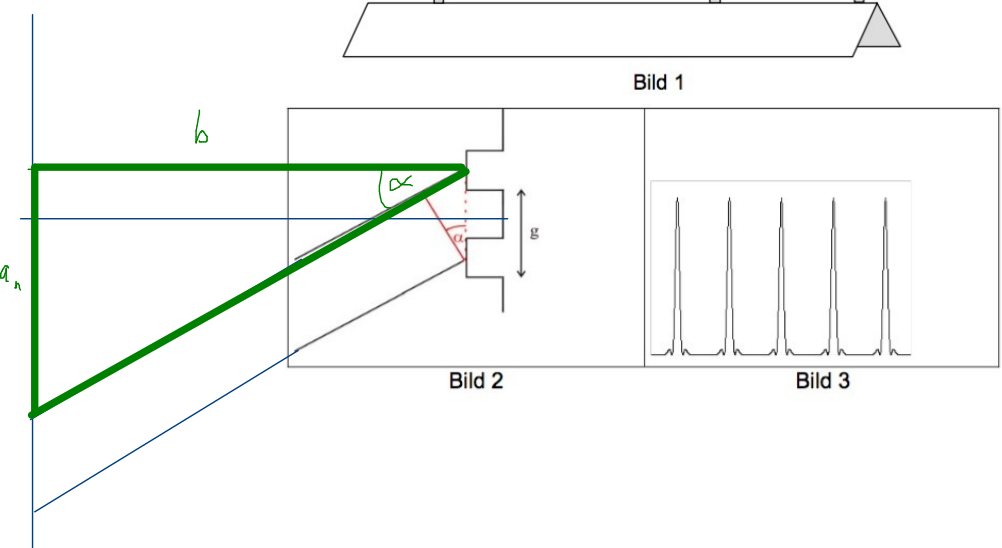


Bild 2

Bild 3



- c) Im Abstand a_n von der Mitte (vom Maximum 0. Ordnung) ist dann ein Maximum der Ordnung n zu beobachten, wenn die Bedingung

$$g = \frac{n \cdot \lambda}{\sin\left(\arctan\frac{a_n}{b}\right)}, \quad n \in \mathbb{N}_0, \text{ erfüllt ist.}$$

Dabei bezeichnen g den Stegabstand und b den Abstand des Schirms von der CD.

Leiten Sie diese Beziehung anhand einer Zeichnung begründet her und berechnen Sie mithilfe der Messwerte von a_1 und b den Stegabstand g der CD.

- d) Wenn man eine CD in den Händen hält, fallen sofort die sichtbaren farbigen Spektren auf. Halten Sie die Ihnen zur Verfügung gestellte CD waagrecht mit dem Etikett in Richtung zum Fußboden, so dass das Licht der Deckenlampe (Leuchtstoffröhre) Spektren erzeugt. Kippen Sie die CD nun so zur Lampe hin, dass sich die Spektren gut beobachten lassen.

Beschreiben Sie die Farberscheinungen und erläutern Sie das Zustandekommen. Gehen Sie hierbei insbesondere auf die Reihenfolge der Farben ein. Ergänzen Sie Ihre Erläuterungen gegebenenfalls mit qualitativen Skizzen.

- c) Die Maxima kommen genau dann zustande, wenn der Gangunterschied benachbarter Wellenzüge ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist, d.h. wenn $g \cdot \sin\alpha = n \cdot \lambda$ bzw. $g = n \cdot \lambda / \sin\alpha$ ist. Der Winkel α wiederum kann aus b und a_n berechnet werden: $\tan\alpha = a_n/b$. Auflösen nach α und Einsetzen in die Berechnungsvorschrift für g liefert die in b) verlangte Beziehung.

Einsetzen der Messwerte $b = 29,5 \text{ cm}$ und $a_1 = 12,5 \text{ cm}$ in die unter b) entwickelte Berechnungsvorschrift liefert den Stegabstand $1,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. (stimmt)

DVD. $b = 6,7 \text{ cm}, a_1 = 10 \text{ cm} \Rightarrow g \approx 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

- d) Beschreibung der Farberscheinungen: Die Farben ergeben sich aus der Spektralzerlegung des „weißen“ Lichtes der Leuchtstoffröhren im Physikraum. (Wenn möglich, sollte das Tageslicht abgeschirmt werden, da das Sonnenspektrum sich sonst überlagert.) Man erkennt ein einigermaßen kontinuierliches Spektrum, in dem allerdings die Übergänge zwischen einzelnen Farben bzw. Spektralbereichen deutlich schärfer aussehen als beim Licht einer Glühlampe bzw. beim Sonnenspektrum. Am Spektrum ist erkennbar, dass Blau weniger abgelenkt wird als Rot.

Begründungen für das Zustandekommen der beobachtbaren Farbbereiche: Die Aufspaltung beruht auf der unterschiedlichen Wellenlänge und der dadurch bedingten unterschiedlichen Beugung. Der mathematische Zusammenhang ergibt sich ähnlich wie in Teilaufgabe b). Längerwelliges (z. B. rotes) Licht wird stärker abgelenkt als kurzwelliges.



Teil- auf- gaben	Anforderung		Lösungsqualität		
			Anforderungs- bereich		
		Der Prüfling	I	II	III
I.a)	1	beschreibt das vorgeführte Experiment.	3		
	2	zeichnet die Intensitätsverteilung.	2		
	3	stellt ein Experiment mit analogem Interferenzbild dar.		3	
		Summe Teilaufgabe I.a)	5	3	0
		Der Prüfling	I	II	III
I.b)	1	zeichnet die Wellenzüge am „Reflexionsgitter“ der CD.	2		
	2	deutet das Interferenzmuster.		2	
	3	erklärt das Zustandekommen der Maxima.		2	
	4	begründet die destruktive Interferenz zwischen den Maxima.		3	
		Summe Teilaufgabe I.b)	2	7	0
		Der Prüfling	I	II	III
I.c)	1	leitet die Beziehung für den Stegabstand begründet her.		4	
	2	berechnet den Stegabstand.	2		
		Summe Teilaufgabe I.c)	2	4	0
		Der Prüfling	I	II	III
I.d)	1	beschreibt seine Beobachtungen an der CD.	3		
	2	begründet die beobachteten Farbbereiche.		3	
	3	stellt qualitative Ergänzungen dar.			2
		Summe Teilaufgabe I.d)	3	3	2
		Summe Teilaufgabe I.a) – I.d)	12	17	2

Der (äußere) Photoeffekt

(auch Hallwachs- oder lichtelektrischer Effekt)

Beschreibe die 3 (bzw. 5 = 2+2+1) Teilexperimente!

Begründe, warum das Wellenmodell des Lichtes bei der Erklärung der Experimente (v.a. Teilexp. 2b) versagt.

Erkläre die Resultate der Experimente mit einer anderen Hypothese über die Natur des Lichtes.

Verwendete Geräte:

Elektroskop mit Zinkplatte (Zn-Platte), Glühlampe, Quecksilberdampf Lampe (Hg-Lampe), Hochspannungsnetzgerät (HV: HV+ und HV-), Glasplatte

1) HV+ auf Zn-Pl.: (Zeiger schlägt aus) ; Glühl. auf Zn: keine Entladung; Hg-L.: keine Entl.

2) HV- auf Zn: Glühl.: keine Entl.; Hg-L.: **Entladung**

3) HV- auf Zn: Hg-L. durch **Glasplatte: keine Entl.** (Glühl. auch nicht)

Vermutlich wurden überschüssige Elektronen (HV-!) von geeignetem Licht aus der Platte gelöst (=> Entladung).

Die Glasplatte lässt offenbar das "geeignete" Licht nicht hindurch: wahrsch. ist UV-Licht nötig für die Entladung.

Die Energie einer Lichtwelle hängt mit der Intensität zusammen, aber egal wie intensiv das Licht der Glühlampe ist, es findet keine Entladung statt.

Stattdessen braucht es eine Mindestwellenlänge für eine Entladung. Lösung bietet die Hypothese:

Licht besteht aus einzelnen Energiepaketen, die jeweils

$$E = h \cdot f$$

$$= h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$(alt: E = h \cdot \nu)$$

transportieren. Wenn diese größer ist als die Auslösearbeit der Elektronen, kommt es zur Entladung.