

G. Absorption des Lichtes (Spektralanalyse).

§ 382. Wenn Lichtstrahlen durch ponderable Substanzen gehen, so werden Teile von ihnen zurückgehalten, absorbiert. Wir haben uns den Vorgang so zu denken, dass ein Teil der Energie der Aetherschwingungen an die Molekeln abgegeben wird und entweder in Atombewegung oder in Molekularbewegung, d. h. Wärme verwandelt wird. Die Aetherenergie wird jedenfalls geschwächt, es tritt weniger Licht aus, als ein.

Man unterscheidet die Körper als durchsichtige und undurchsichtige, je nachdem sie noch durch dicke Schichten Licht durchlassen, oder schon in dünnen Schichten alles Licht absorbieren. Unter den durchsichtigen unterscheiden wir wieder farbige und farblose, von welchen erstere einzelne Wellenlängen viel stärker absorbieren, als die übrigen; man spricht dann von auswählender Absorption. Blaues Glas z. B. lässt grünes, blaues und violettes Licht fast ungeschwächt hindurch, während rotes und gelbes sehr stark absorbiert wird. Es sind indessen weder zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen, noch zwischen farbigen und farblosen Substanzen scharfe Grenzen zu ziehen; auch reines Wasser absorbiert, wenn die Schicht dick genug ist, das Licht, und Metalle lassen es durch sehr dünne Schichten durchgehen. Ebenso zeigt sich dann der Unterschied in der Absorption verschiedener Wellenlängen: Wasser und Silber lassen z. B. blaues Licht stärker hindurch.

Für die Absorption des Lichts gelten folgende Gesetze:

1. Die Menge J_1 des absorbierten Lichtes ist proportional der des auffallenden J , also $\frac{J_1}{J} = \text{Konst.}$

2. Gleich dicke Schichten eines Körpers absorbieren einen gleichen Bruchteil des auffallenden Lichtes. Haben wir daher einen Körper von der Dicke n , auf den die homogene, d. h. einfarbige Lichtmenge L fällt; denken wir ihn in n Schichten von der Dicke 1 geteilt, nehmen an, eine Schicht absorbiere den Bruchteil yL , lasse also $L - yL = (1 - y)L = xL$ hindurch, so absorbiert die zweite Schicht davon wieder y , es geht hindurch $(1 - y)xL = x^2L$ u. s. w. Aus der n -ten Schicht tritt daher aus x^nL , während absorbiert ist $(1 - x^n)L$. Bei den durchsichtigen farblosen Körpern ist y für

alle Wellenlängen sehr klein, bei den farbigen für einzelne klein, für andere gross, bei den undurchsichtigen für alle Wellenlängen grösser, nämlich nahezu gleich $1 \cdot \mu$ heisst der Absorptionskoeffizient.

Wie für die sichtbaren, so sind auch für die ultraroten und ultravioletten Strahlen die Substanzen durchsichtig oder undurchsichtig. Hartgummi z. B. lässt grössere Wellen als 700μ vollständig hindurch, Wasser fast gar nicht, auch Glas schwächt sie stark. Ebenso ist Glas für Ultraviolet undurchsichtig; das ist wichtig für die Untersuchung der kurzen Wellen; Prismen und Linsen des Spektrometers müssen dazu aus Quarz oder Flussspat hergestellt werden, welche für kurze Wellen durchsichtig sind. Ebenso müssen Prismen und Linsen für das Ultrarot aus Steinsalz oder Fluorit hergestellt werden, welche beide für lange Wellen gut durchlässig sind. Die atmosphärische Luft ist für kurze Wellen undurchsichtig, daher hört das Sonnenspektrum bei etwa 300μ auf. Nach Cornu soll $1 m$ Luft Wellen von 184μ völlig absorbieren, $0,1 m$ Luft solche von 157μ .

§ 383. Auf der Absorption des Lichtes beruhen die natürlichen Farben der Körper. Wir sehen die Körper (wenn sie nicht selbstleuchtend sind) nur, weil sie das auffallende Licht diffus reflektieren (§ 344). Das Licht wird aber nicht in der Grenzfläche selbst reflektiert, sondern dringt bis zu einer sehr geringen Tiefe in die Substanz ein, bevor es zurückgeworfen wird. Auf diesem Wege erleidet es nun Absorption einzelner Farben, das reflektierte Licht enthält also nicht mehr alle Farben, die sich vorher zu weiss mischten, muss also farbig aussehen. Ein grüner Körper z. B. ist nicht ein solcher, der nur grünes Licht aussendet, sondern ein solcher, der alle Bestandteile des weissen Lichtes reflektiert mit Ausnahme der roten Strahlen. Daher kommt es, dass farbige Körper verschieden aussehen können, je nach dem auffallenden Lichte, einzelne Farben z. B. bei Lampenlicht schwer zu untersuchen sind, oder dunkler aussehen; wenn das auffallende Licht aus anderem Farbgemisch besteht — und im Lampenlicht ist viel weniger Blau, als im Tageslicht, es erscheint rot oder gelb gegen dieses, — so muss auch das reflektierte Licht andere Farbe besitzen.

§ 384. Zur genaueren Kenntnis der Absorption müssen wir das durchgegangene Licht zu einem Spektrum ausbreiten, in welchem dann dunkle Partien auftreten, die die absorbierten Wellenlängen

anzeigen. Man unterscheidet bei verschiedenen festen und flüssigen Substanzen folgende Arten der Absorption:

Einseitige Absorption: das eine Ende des Spektrums wird vollständig absorbiert, meist das violette. Beschränkt sich die Absorption auf den unsichtbaren Teil, so kann die Substanz durchsichtig sein, z. B. weisses Glas.

Zweiseitige Absorption, wenn sowohl kurze wie lange Wellen absorbiert werden, nur ein mittlerer Teil durchgeht, wie z. B. bei blauem Glas. Hierher gehören die meisten gefärbten Medien, auch die Metalle.

Schatten nennt man breitere Gruppen von Wellenlängen, die stärker absorbiert werden, so dass das Spektrum hier von einem Schatten durchzogen erscheint.

Absorptionsstreifen sind vorhanden, wenn begrenzte Partien von Wellenlängen stark absorbiert werden, so dass im Spektrum scharfe dunkle Bänder auftreten. Dieser Fall ist besonders auffallend und charakteristisch für die betreffende Substanz; er findet sich z. B. bei vielen Farbstoffen, und ist wichtig für deren Unterscheidung. Als besonders wichtig wären hier ausser den Farbstoffen zu nennen: die übermangansauren und die chromsauren Salze, der Blutfarbstoff, die zur Gruppe des Erbium und Didym gehörenden seltenen Erden, von denen die meisten nur mittelst ihrer Absorptionsspektren entdeckt worden sind.

§ 385. Wie bei der Emission, so verhalten sich auch bei der Absorption die Gase und Dämpfe wesentlich verschieden von den festen und flüssigen Körpern. Brewster fand zuerst 1834, dass wenn man weisses Licht durch Dämpfe von salpetriger Säure gehen lässt und es dann zu einem Spektrum ausbreitet, man ein Absorptionsspektrum erhält, welches von zahlreichen feinen schwarzen Linien durchzogen ist. Dasselbe fand sich dann für die übrigen Dämpfe. Wie also feste und flüssige Körper grosse Gruppen von Wellen oder alle emittieren, Gase nur bestimmte Wellenlängen, so absorbieren feste und flüssige Körper auch grosse Gruppen oder alle Wellen, Gase nur bestimmte Wellenlängen. Diese Erscheinung erklärt sich sehr einfach: die Gase senden einzelne Wellenlängen aus, weil ihre Atome die entsprechenden Schwingungen machen; geht nun Licht mit allen möglichen Schwingungen durch das Gas, so versetzt es die Atome in Mitschwingen (§ 210). Dazu wird aber

Aetherenergie verbraucht; wir finden daher im durchgegangenen Licht gerade die Schwingungen oder Wellenlängen geschwächt, welche der Dampf selbst emittieren würde.

§ 386. Diese Thatsachen werden präzise ausgesprochen durch das hervorragend wichtige, von Kirchhoff 1861 bewiesene Gesetz über das Verhältnis zwischen Emission und Absorption. Nennen wir die Intensität des auf einen gegebenen Körper von der Temperatur t fallenden homogenen Lichtes J , den davon absorbierten Teil J_1 , so nennt Kirchhoff $\frac{J_1}{J} = A$ das Absorptionsvermögen des Körpers für die betreffende Farbe. Nennen wir ferner die Intensität des Lichtes derselben Farbe, welches der Körper bei derselben Temperatur t aussendet, sein Emissionsvermögen E , so ist nach Kirchhoffs Gesetz für alle Körper bei derselben Temperatur $\frac{E}{A} = \text{Konst.}$, wo die Konstante also nur von Temperatur und Wellenlänge abhängt. Wir können die Konstante noch näher bestimmen: schwarz nennen wir solche Körper, welche auffallendes Licht wenig reflektieren und durchlassen. Wir können uns einen Körper denken, der gar nichts reflektiert und durchlässt, sondern alles absorbiert, und ihn absolut schwarz nennen; für ihn wäre $J = J_1$, also $A = 1$. Nennen wir sein Emissionsvermögen e , so ist nach dem Kirchhoffschen Gesetz für eine und dieselbe Temperatur und Wellenlänge $\frac{E}{A} = \frac{e}{1}$, $E = eA$, d. h. die Emission einer bestimmten Wellenlänge durch einen Körper ist proportional der Absorption derselben Wellenlänge bei gleicher Temperatur.

Der Proportionalitätsfaktor e ist von Wichtigkeit; wir kennen zwar keinen absolut schwarzen Körper, doch kommt einem solchen eine Substanz wie Russ oder Kohle nahe. Ueber deren Emissionsvermögen e wissen wir: bei niedriger Temperatur werden nur lange Wellen, strahlende Wärme, ausgesandt, für kürzere Wellen ist dann $e = 0$. Bei steigender Temperatur werden bei 525° zuerst rote Wellen ausgesandt, allmählich kommen kürzere hinzu. Also erhält e bei steigender Temperatur für immer kürzere Wellenlängen einen von 0 verschiedenen Wert; für jede Wellenlänge nimmt e mit der Temperatur zu.

Daraus ergibt sich z. B. das Drapersche Gesetz (§ 272); aus $E = eA$ folgt, dass $E = 0$, nur solange $e = 0$, da A nicht gleich 0 ist; sobald aber die Temperatur erreicht ist, wo e z. B. für Rot nicht mehr 0 ist, d. h. bei 525° C., muss auch E von 0 verschieden sein, d. h. alle Körper beginnen bei derselben Temperatur rotes, gelbes u. s. w. Licht auszustrahlen, wie Kohle.

Bei Gasen und Dämpfen haben wir nun gefunden, dass E nur für einzelne Wellenlängen nicht 0 ist; nur für diese wird daher bei derselben Temperatur auch A nicht 0 sein, d. h. ein Dampf wird allein diejenigen Linien stark absorbieren, die er bei derselben Temperatur stark emittiert. Die Folge davon ist, dass das Absorptionsspektrum eines Dampfes sozusagen das negative Bild seines Emissionsspektrums bei derselben Temperatur ist, wir also die Absorptionsspektren genau ebenso zur Analyse benutzen können, wie die Emissionsspektren.

§ 387. Die wichtigste Anwendung dieser letzten Thatsache machte Kirchhoff selbst, die auf das Sonnenspektrum. Der erste, welcher dasselbe genauer untersuchte, war Fraunhofer (1814). Er bemerkte, dass es nicht ein einfaches kontinuierliches Spektrum sei, sondern von zahllosen feinen schwarzen Linien durchfurcht ist, welche anzeigen, dass die diesen entsprechenden Farben oder Wellenlängen fehlen, oder vielmehr stark geschwächt sind. Nach ihm nennt man diese Linien Fraunhofersche Linien. Die stärksten derselben sind von ihm mit Buchstaben benannt worden.

Die erste kleine Zeichnung des sichtbaren Sonnenspektrums stellte Fraunhofer her; Kirchhoff gab eine sehr viel grössere mit etwa 900 Linien, Angström eine noch vollkommenere mit etwa 1000 Linien. Das ultraviolette Spektrum gab zuerst Cornu einigermaßen genau, das ultrarote Abney. In allerneuester Zeit endlich hat Rowland einen ausgezeichneten photographischen Atlas des sichtbaren und ultravioletten Sonnenspektrums publiziert mit weit über 10000 Fraunhoferschen Linien. — Die Wellenlängen der wichtigsten Linien sind folgende, gemessen in $\mu\mu$ (Milliontel-Millimeter).

Längste beobachtete	A . . . 759,41	O	b ₁ . . . 518,3792	Mg	
986,70	B . . . 686,7461	O	b ₄ . . . 516,7501	Mg	
Y	{ 899,04	C . . . 656,3054	H	F . . . 486,1496	H
		{ 898,65	D ₁ . . . 589,6156	Na	G . . . 430,8071
X ₄	880,61	D ₂ . . . 589,0188	Na	h . . . 410,187	H
X ₁	849,70	E ₁ . . . 527,0497	{ Fe	H . . . 396,862	Ca
Z	822,64		{ Ca	K . . . 393,381	Ca
		E ₂ . . . 526,9722	Fe	L . . . 382,057	Fe

M	{ 372,776	Fe	Q . . . 328,687	Fe	T	{ 302,119	Fe	
		{ 372,720	Fe	R . . . 318,028			Fe	{ 302,076
N	358,134	Fe	S ₂ . . . 310,006	Fe	t	299,454	Fe	
O	344,135	Fe	s	304,720	Fe	U	294,799	Fe
Z	336,130	?						

Hinter den Wellenlängen ist das Element bezeichnet, dem die Linie angehört.

§ 388. Es trat die Frage auf, woher diese Linien entstehen. Schon Fraunhofer¹⁾ wies nach, dass einzelne Fixsterne ähnliche Spektren, aber mit anderen Linien zeigen. Würden diese durch Absorption in der Erdatmosphäre hervorgebracht, so müssten die Sonne und alle Fixsterne die gleichen Linien zeigen; folglich müssen sie durch Absorption in einer Dampfhülle entstehen, die jedem Himmelskörper eigentümlich ist, ihn selbst umgibt. Kirchhoff schloss daher, die Sonne bestehe aus einem feurigen Kern, der ein kontinuierliches Spektrum emittiert. Von ihm steigen fortwährend Dämpfe auf, welche die Sonne mit einer dicken Atmosphäre umgeben; sie enthält die Dämpfe der in der Sonne befindlichen Körper, wird Photosphäre genannt, und ist das, was wir sehen. Durch

¹⁾ Die Atlanten des Sonnenspektrums sind: Fraunhofer, Denkschriften d. K. Akademie d. Wissensch. München, 1814—1815, 5. — Kirchhoff, Untersuchungen üb. d. Sonnenspektrum. Abh. d. Berl. Akademie 1861. — Angström, Recherches sur le spectre solaire, Upsala 1868. — H. C. Vogel, Publikationen d. astrophys. Observ. z. Potsdam, 1 (1879). — Fizeau, Ann. de l'observatoire de Bruxelles (2) 11, 1882. — Cornu, Spectre normal du soleil, Paris 1881. — Abney, The solar spectrum, Philos. Transactions Roy. Soc. 177 (1886). — Rowland, Photographic map of the Solar Spectrum, Baltimore 1883.

Absorption in dieser Hülle entstehen die Fraunhoferschen Linien. Es ist danach klar, dass wir nach dem Kirchhoffschen Gesetz aus diesen Linien die chemische Zusammensetzung der Photosphäre und damit der Sonne selbst erkennen können, indem wir die Uebereinstimmung der Wellenlänge der Fraunhoferschen Linien mit den von irdischen Elementen ausgesandten hellen Linien nachweisen. — Im vorigen Paragraphen ist hinter die Fraunhoferschen Linien das Zeichen des Elementes gesetzt, welchem die Linie angehört.

Schon Kirchhoff gelang es, die Anwesenheit einer ganzen Anzahl irdischer Elemente in der Sonne auf diese Weise zu erkennen; Angström und Thalén, dann Lockyer haben diese Untersuchungen fortgesetzt, bis kürzlich Rowland auf Grund sehr vollständiger Spektralphotographien folgende Elemente als in der Sonne sicher vorhanden anführt, wobei die Elemente nach der Zahl der im Sonnenspektrum ihnen angehörenden Linien geordnet ist:

Fe (2000 Linien oder mehr), Ni, Ti, Mn, Cr, Co, C, Va (200 oder mehr), Zr, Ce, Ca (75 oder mehr), Sc, Nd, La, Y (75 oder mehr), Nb, Mo, Pd, Mg (20 oder mehr), Na (11), Si, Sr, Ba, Al (4), Cd, Rh, Er, Zn, Cu (2), Ag, Be, Ge, Sn, Pb, K (1 Linie). Daraus ergibt sich, dass die auf der Erde häufigen Elemente auch in der Sonne reichlich vertreten sind, so dass deren chemische Zusammensetzung nicht wesentlich von der der Erde verschieden sein kann. Auffallend ist nur das Fehlen der meisten Metalloide, woraus Lockyer den Schluss gezogen hat, dieselben seien keine Elemente, sondern zusammengesetzte Körper. Von der Kohle finden sich merkwürdigerweise in der Sonne Banden, welche einer Kohlenstoffverbindung zugeschrieben werden.

Die grosse Mehrzahl der Fraunhoferschen Linien wird durch die Anwesenheit der genannten Elemente erklärt. Einige bleiben aber übrig, die von irdischen Elementen nicht bekannt sind, wobei es aber zweifelhaft bleibt, ob sie neuen Elementen angehören, oder nur durch die Temperatur der Sonne, die jedenfalls höher ist, als wir sie erreichen können, bedingt sind.

§ 389. Nicht alle Fraunhoferschen Linien entstehen durch Absorption in der Photosphäre; ein kleiner Teil derselben erscheint nämlich bei niedrigem Sonnenstande, wenn also das Sonnenlicht eine dickere Schicht der Erdatmosphäre zu durchdringen hat, viel dunkler, als bei hohem Sonnenstand. Sie finden sich auch in den Spektren aller Fixsterne wieder, rühren also von den Bestandteilen

der Erdatmosphäre her; man nennt sie terrestrische, tellurische oder atmosphärische Linien. Sie rühren hauptsächlich vom Wasserdampf her, daneben auch vom Sauerstoff, so z. B. die Fraunhoferschen Linien A und B.

§ 390. Die Spektralanalyse hat noch andere wichtige Aufschlüsse über die Sonne gegeben¹⁾. Bei totalen Sonnenfinsternissen hatte man um den Rand der Sonne eigentümliche rote Gebilde herausragen sehen, die man Protuberanzen nennt; sie sind gewöhnlich nicht sichtbar, weil das helle Sonnenlicht sie überstrahlt, sind aber stets vorhanden. Lockyer und Janssen kamen (1868) gleichzeitig auf eine Methode, sie stets sichtbar zu machen: entwirft man ein Bild des Sonnenrandes auf den Spalt des Spektrometers, und macht den Spalt breit, so erscheint an den Stellen des Spektrums, wo das von den Protuberanzen ausgesandte Licht hinfällt, das Bild der Protuberanz, indem das helle Bild der Protuberanz gleichsam den Spalt bildet, und, wie wir wissen, die Linien des Spektrums nur Bilder des Spaltes sind. Das Spektroskop muss dabei sehr grosse Dispersion besitzen, damit das kontinuierliche Spektrum des Sonnenlichtes selbst durch die grosse Ausbreitung genügend geschwächt werde, während das homogene Licht der Protuberanzen nicht zerstreut wird. Lässt man den Spalt eng, so sieht man im gleichen Fall das Spektrum der Protuberanz. Man erkennt dann helle Linien, hauptsächlich die des Wasserstoffs. Die Protuberanzen sind also Eruptionen von Wasserstoff aus dem Innern der Sonne, welche beim Durchbrechen der Photosphäre auch Metaldämpfe mit sich reissen, z. B. Mg, Na, Fe, Ba u. s. w. Die Form der Protuberanzen entspricht dem: sie haben teils die Gestalt von Gasstrahlen, die unter hohem Druck hervorbrechen, teils die Gestalt von Rauchsäulen, wie wir sie bei Vulkanen beobachten können. Sie erreichen die Höhe von 500 000 Kilometer über der Photosphäre.

In ganz derselben Weise kann man die dunklen Flecken, welche auf der Sonnenfläche sichtbar sind, die Sonnenflecke, untersuchen. Das Spektrum zeigt die Fraunhoferschen Linien verbreitert und verstärkt, ein Zeichen, dass wir es mit dichteren kühleren Dampfmassen zu thun haben. Wir haben sie uns daher als Stellen zu denken, wo die Dämpfe sich kondensieren, Wolken

¹⁾ Vgl. C. A. Young, The Sun, London 1882.

bilden, die dann in Gestalt von Metallregen auf den Sonnenkern zurückfallen werden.

§ 391. Bei den Protuberanzen und Sonnenflecken ist von Lockyer zuerst eine interessante Erscheinung beobachtet worden, nämlich, dass die Linien, z. B. die des Wasserstoffs, im Spektrum verschoben erscheinen, also kleinere oder grössere Wellenlänge besitzen, als sie sollten. Dies erklärt sich durch Bewegung der Lichtquelle nach dem Dopplerschen Prinzip (§ 222). Nähert sich uns die Lichtquelle, so treffen uns mehr Schwingungen in der Sekunde, entfernt sie sich, so treffen uns weniger, als von der Lichtquelle ausgehen; danach muss die Wellenlänge kleiner oder grösser werden. Ist v die Lichtgeschwindigkeit, u die der Lichtquelle, so wird die Schwingungsdauer T zu $T \left(1 \mp \frac{u}{v}\right)$, also die Wellenlänge λ zu $\lambda \left(1 \mp \frac{u}{v}\right)$. Die glühenden Wasserstoffmassen der Protuberanzen haben nun sehr bedeutende Geschwindigkeit, die wir aus der Verschiebung berechnen können: man hat Geschwindigkeiten bis zu 500 *km* pro Sekunde gemessen.

Die gleiche Erscheinung ist bei den Fixsternen zu beobachten, und ist von höchster Wichtigkeit für die Astronomie. Die Astronomen konnten früher nur die Bewegung der Fixsterne senkrecht zur Sehlinie messen; die Verschiebung der Spektrallinien gibt die Geschwindigkeit in Richtung der Sehlinie, und durch Zusammensetzung beider Komponenten erhält man die wahre Bewegung.

§ 392. Auch auf die übrigen Himmelskörper, Planeten, Monde, Fixsterne, Kometen, Nebelflecke, ist das Spektroskop gerichtet worden und hat mancherlei Aufschlüsse gegeben. Die Planeten und Monde zeigen nur das Sonnenspektrum, sie reflektieren also nur Sonnenlicht; im Spektrum treten aber einzelne neue Absorptionsbanden auf, die die Anwesenheit einer Atmosphäre um die Körper nachweisen.

Die Fixsterne zeigen verschiedene Spektren, und man hat sie danach in vier Klassen geteilt: zur ersten Klasse gehören die weissen Sterne, die ein kontinuierliches Spektrum mit nur sehr wenigen dunklen Absorptionslinien zeigen, welche fast ausschliesslich dem Wasserstoff angehören. Die zweite Klasse bilden die gelben Sterne, deren Spektrum etwa dem Sonnenspektrum gleicht.

Zur dritten und vierten Klasse endlich gehören die farbigen Sterne, deren Spektrum Absorptionsbanden besitzt, ausserdem zum Teil einige helle Linien, namentlich von Wasserstoff.

Die Kometen zeigen stets das Spektrum der Kohlebanden, daneben hat man vereinzelt andere Linien, z. B. die von Na gesehen.

Die Nebelflecke endlich zeigen nur eine Anzahl heller Linien, sie sind also wohl glühende Gasmassen. Der chemische Ursprung der Linien ist unbekannt, nur Wasserstoff ist sicher nachgewiesen.

H. Interferenz des Lichtes.

§ 393. Wir kommen nun zu denjenigen Erscheinungen, welche beweisen, dass das Licht durch eine Schwingungsbewegung¹⁾ zu stande kommt, und welche uns auch die Mittel an die Hand geben, die Schwingungszahlen oder die Wellenlängen zu bestimmen. Wir haben schon besprochen, dass die im nächsten Abschnitt zu behandelnden Erscheinungen der Polarisation uns zwingen, transversale Schwingungen anzunehmen, und so gehen wir gleich von diesen aus.

Ein Strahl, bei welchem die Schwingungen dauernd in derselben Ebene durch den Strahl stattfinden, heisst ein linear polarisierter Strahl; solche Strahlen setzen wir zunächst voraus, obgleich natürliches Licht nicht so beschaffen ist, sondern die Schwingungen bei ihm nach allen Richtungen senkrecht zum Strahl erfolgen.

Die Gleichung für einen linear polarisierten Strahl ist (§ 177)

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

Sei in gleicher Richtung noch ein zweiter Strahl vorhanden, dessen Gleichung: $y_1 = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x+\delta}{\lambda} \right)$,

der also die gleiche Wellenlänge, aber andere Amplitude und Phase hat. Der Phasenunterschied ist $2\pi \frac{x+\delta}{\lambda} - 2\pi \frac{x}{\lambda} = 2\pi \frac{\delta}{\lambda}$. δ wird

der Gangunterschied der Wellen genannt.

Nach dem Prinzip von der Koexistenz kleiner Bewegungen (§ 182) erhalten wir die Gesamtbewegung durch Addition beider Bewegungen, also

¹⁾ Vgl. Verdet-Exner, Wellentheorie der Lichtes, Braunschweig.