

sion benutzter Prismen gestellt werden. *Rubens* und *Michel* entschieden sich daher für die Aufnahme von Isochromaten des schwarzen Körpers, und zwar bei Wellenlängen von 4, 5, 7, 9, 12, 16, 22 und 52 μ , und bei Temperaturen zwischen der der flüssigen Luft und 1400° C. Sie waren auf diese Weise imstande, eine Prüfung des Strahlungsgesetzes in dem ganzen, nach *Nernst* und *Wulf* von der α -Korrektion betroffenen Bereich von x -Werten vorzunehmen. Die Wellenlängen von 22 und 52 μ wurden als Reststrahlen von Flußspath und Steinsalz, die kürzeren Wellenlängen durch prismatische Zerlegung mittels Prismen aus Flußspath, Steinsalz oder Sylvin hergestellt. Als Strahlungsquellen dienten, je nach dem Temperaturbereich, vier schwarze Körper verschiedener Konstruktion. Die Energiemessung geschah mit einem Mikroradiometer, die Temperaturmessung der schwarzen Körper mit einem Widerstandsthermometer bzw. eingebauten Thermolementen, welche von der P. T. R. auf das genaueste geeicht worden waren. Auf Einzelheiten der Versuchsanordnung, welche sich grundsätzlich in keiner Weise von der von *Rubens* bereits früher benutzten unterscheidet, kann hier nicht eingegangen werden. Selbstverständlich ist, daß alle nur denkbaren Fehlerquellen, und seien sie noch so geringfügig, aufgesucht und ausgeschaltet wurden, z. B. Proportionalitätsabweichungen der Ausschläge des Mikroradiometers, Schwankungen der Empfindlichkeit der Meßanordnung (z. B. infolge von Änderung der Absorption der Strahlung in der Zimmerluft), spektrale Unreinheit der Strahlung, Temperaturgefälle im Innern des schwarzen Körpers, welches eine Korrektur der gemessenen Temperatur nötig macht, Erwärmung von Blenden und Klappschirmen usw.

Die Auswertung der Meßreihen ging in folgender Weise vor sich: Innerhalb derselben Isochromate muß bei Gültigkeit des Planckschen Gesetzes die Größe

$$C = E(e^x - 1)$$

konstant sein, wenn E der bei der Temperatur T beobachtete Ausschlag des Mikroradiometers (als relatives Energiemaß), $x = \frac{c h}{k \lambda T}$ ist. Dagegen müßte nach *Nernst* und *Wulf* die Größe

$$C' = \frac{C}{1 + \alpha}$$

konstant sein, wobei α der Tabelle 1 zu entnehmen ist.

Es ergibt sich nun bei allen acht Isochromaten mit voller Klarheit das gleiche Resultat: Die C -Werte schwanken in allen Meßreihen innerhalb der Fehlergrenzen von $\pm 1,25\%$ völlig unregelmäßig um einen Mittelwert, ohne einen Gang mit x erkennen zu lassen. C ist also in der Tat, wie es das Plancksche Gesetz verlangt, als konstant anzusehen. Dagegen zeigen die C' -Werte ausnahmslos einen, von der jeweiligen Größe der α -Korrektion abhängigen, starken Gang mit x , während sie bei Gültigkeit der α -Korrektion konstant sein sollten. Als Beispiel sei in Tabelle 2 die Isochromate 9 μ (genau 8,994 μ) wiedergegeben. Das verschiedene Verhalten der C - und C' -Werte, wie es besonders durch die Abweichungen δC und $\delta C'$ vom Mittelwert dargestellt ist, ist evident. Das Resultat ist also eine völlige Bestätigung des Planckschen Gesetzes innerhalb der heute erreichbaren Meßgenauigkeit.

Wir dürfen uns also des Planckschen Strahlungsgesetzes von neuem, und noch mehr als bisher, als eines außerordentlich fest gesicherten Besitzes unserer Wissenschaft freuen. Die Kritik aber hat wieder einmal die schönste ihrer Aufgaben erfüllt: statt nieder-

Tabelle 2 (Isochromate 9 μ).

T abs.	E	C	δC	C'	$\delta C'$
377	10,72	73,41	— 56	69,39	— 153
476	26,62	73,90	— 7	69,21	— 171
577	49,62	74,28	+ 31	69,36	— 156
635	65,68	74,70	+ 73	69,69	— 123
678	78,07	74,73	+ 76	69,78	— 114
740	96,54	74,12	+ 15	69,53	— 139
844	130,51	73,71	— 26	69,93	— 99
923	158,49	73,75	— 22	70,57	— 35
1034	201,08	74,28	+ 31	71,70	+ 78
1126	235,51	73,88	— 9	71,73	+ 81
1235	279,56	74,32	+ 35	72,51	+ 159
1332	318,25	73,87	— 10	73,31	+ 239
1437	359,08	73,36	— 61	72,06	+ 114
1533	402,13	73,91	— 6	72,75	+ 183
1653	449,41	73,30	— 67	72,29	+ 137

zureißen, hat sie geholfen aufzubauen und zu festigen. Ohne die am Planckschen Gesetz geübte Kritik wäre uns die schöne experimentelle Bestätigung dieses Gesetzes vermutlich zunächst nicht geschenkt worden, die heute als Muster einer auf das sorgfältigste und scharfste durchgeführten Präzisionsarbeit das Herz jedes Experimentalphysikers erfreuen muß.

W. Westphal.

Über die Konturen optischer Bilder. Bei allen optischen Präzisionsmessungen hat man bisher mit der Vorstellung von scharfen geometrisch-optischen Bildrändern gearbeitet, obgleich die Beugungstheorie längst erwiesen hat, daß es eine eigentliche Begrenzungslinie an optischen Bildern nicht gibt. Es bleibt also die Frage zu beantworten nach dem eigentlichen Wesen dessen, was dem Auge als Bildbegrenzung erscheint — eine Frage, die schon von *W. Struve*¹⁾, *Strehl*²⁾ und besonders von *Hering*³⁾ angeschnitten wurde, aber über die qualitative Antwort durch *Herings* Hinweis auf den „Grenzkontrast“ hinaus nicht gefördert werden konnte. Beweisend und quantitativ fruchtbar läßt sich die Antwort erst gestalten, wenn man auf die Untersuchungen *Machs*⁴⁾ und *Seeligers*⁵⁾ über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize auf der Netzhaut zurückgreift. *Mach* formuliert seine Experimentalergebnisse über die von ihm zuerst entdeckten Kontrasterscheinungen an stetig verlaufenden Lichtverteilungen dahin, daß das Auge jede Abweichung der Lichtstärke eines Flächenpunktes vom Mittel der nächst umgebenden Intensitäten besonders heraushebt, indem es Stellen mit einer Überschußintensität erheblich heller empfindet als ihrer objektiven Intensität zukommt, Stellen mit Intensitätsunterbilanz dagegen zu dunkel sieht. Da die Abweichung der Intensität J im Punkte x, y von dem Mittel der nächst umgebenden Intensitäten proportional dem Ausdruck

$$\Delta J(x, y) = \frac{d^2 J}{d x^2} + \frac{d^2 J}{d y^2}$$

ist, den ich in diesem Zusammenhang als *Kontrastfunktion* bezeichne, so kann man sagen, daß in einer Intensitätsverteilung immer dort helle oder dunkle

¹⁾ *W. Struve*, Über d. Einfl. d. Diffraction an Fernrohren auf Lichtscheiben.

²⁾ *K. Strehl*, Theorie des Fernrohrs.

³⁾ *Hering*, Grundzüge der Lehre v. Lichtsinn, Berlin, Springer, 1920, § 32 u. f.

⁴⁾ *Mach*, Die physiol. Wirkg. räuml. verteilter Lichtreize a. d. Netzhaut, Wiener Sitzungsber. 1865 bis 1868.

⁵⁾ *Seeliger*, Die Vergrößerung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, Abh. d. k. b. Akad. d. W. München 1896.

Kontraststreifen gesehen werden, wo die Kontrastfunktion besonders starke negative oder positive Werte erreicht. In der Vermutung, daß alle gesehenen optischen Bildränder auf solche Kontraststreifen zurückgehen, habe ich durch Vergleich der von *Seeliger*⁴⁾ angestellten Modellmessungen mit dem Verlauf der dazu berechneten Kontrastfunktionen zunächst feststellen können, daß Begrenzungslinien sowohl mit den Grat- und Tallinien als mit den Nulllinien der Kontrastfunktion zusammenfallen können. Hieraus und aus dem allgemeinen Charakter der Kontrastfunktion an Beugungsbildern folgt, daß — wenn die Kontrastlinien für den Bildrand maßgebend sind — die Ausmessung eines optischen Bildes Resultate ergeben kann, welche je nach Aufgabe und Beobachtungsbedingungen um bestimmte Beträge größer oder kleiner sind als das geometrisch-optische Bild, gelegentlich aber auch mit ihm übereinstimmen können. Besonders interessant wird die Kontrasttheorie dadurch, daß aus der numerischen Berechnung der Kontrastfunktion sehr nahe beieinander liegender Bilder, wie sie bei Mikromessungen vorkommen, unter Umständen erhebliche Verlagerungen der Kontrastlinien gegenüber den isolierten Bildern folgen, welche im allgemeinen der Verlagerung der Isophoten entgegengesetzt sind. Da nun fast alle Mikromessungen auf Einstellung der Bildränder beruhen, so werden hieraus eine Reihe von Messungsfehlern numerisch ableitbar, deren tatsächliches Vorhandensein als Beweis für die Kontrasttheorie gelten muß. Nach den bisher durchgerechneten Beispielen gelang die numerische Darstellung der von *Aubert* gegebenen Messungsreihen der positiven und negativen Irradiation an schmalen hellen und dunklen Streifen, die Erklärung der Unabhängigkeit der scheinbaren Planetendurchmesser von der Objektöffnung der Fernrohre, des Abstoßungsfehlers bei engen visuellen Doppelsternen, wie des ähnlichen von *Kostinsky* entdeckten Fehlers bei nahe benachbarten photographischen Bildern; die Ableitung der Differenz zwischen den Monddurchmesserwerten, welche aus Sternbedeckungen am hellen und dunklen Mondrand erhalten sind; die Darstellung der Erscheinung des Schwarzen Tropfens bei Planetendurchgängen vor der Sonnenscheibe und endlich die Ableitung der Abweichungen unter den Venusdurchmesserwerten, welche aus Heliometermessungen an der hellen Planetenscheibe, aus Messungen an der dunklen vor der Sonne stehenden Planetenscheibe und aus Messungen an der nahe bei der Sonne stehenden schmalen Sichel erhalten sind⁶⁾.

Damit scheint die Brauchbarkeit der Definition optischer Bildbegrenzung auf Grund der Kontrasttheorie hinreichend erwiesen und an der Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung in der Theorie der Präzisionsmessungen ist nicht zu zweifeln. Auch für die physiologische Optik scheint sie von Bedeutung, insofern als sie aus verschiedenen hier nicht zu erörternden Gründen ein äußerst präzises Prüfmittel für nähere Erforschung der Netzhautfunktionen darstellt.

A. Köhl.

In einer kurzen Abhandlung (Goethes physiologische Erklärung der Pflanzenmetamorphose als moderne

Hypothese von dem Einfluß der Ernährung auf Entwicklung und Gestaltung der Pflanze, Beih. z. bot. Centrbl. 38, 1921, Abt. I) beleuchtet *Lakon* die Goethesche Metamorphosenlehre vom Standpunkt der modernen Physiologie. Man hat bisher an diesem Werke meist in ziemlich einseitiger Weise die morphologische Hypothese von der Metamorphose pflanzlicher Organe gewürdigt. In neuerer Zeit hat dann *Hansen* darauf hingewiesen, daß die Goethesche Schrift auch recht beachtenswerte kausalphysiologische Gesichtspunkte zur Erklärung der Metamorphose enthält. Diese Dinge werden von *Lakon* einer eingehenden Analyse unterzogen, und er gelangt dabei zu dem Schluß, daß sich bei Goethe die Wurzeln zu ganz modernen Anschauungen über die Kausalität der Organbildung finden.

Wie bekannt ist, hat *Sachs* den Standpunkt vertreten, daß für die Anlage bestimmter Pflanzenorgane (Blätter, Blüten usw.) das Vorhandensein spezifischer, organbildender Stoffe notwendig ist, die nur in geringen Mengen anwesend zu sein brauchen, also nach Art der Fermente wirken. Diese Auffassung ist dann von *Goebel* und *Klebs* dahin modifiziert worden, daß es nicht auf bestimmte Stoffe, vielmehr auf das Verhältnis der Nährsalze zu den organischen Substanzen ankommt. So bedingt nach *Goebel* bei der rundblättrigen Glockenblume (*Campanula rotundifolia*) Überschuß an Nährsalzen die Bildung von Primärblättern, Überschuß an organischen Substanzen die Bildung von höher differenzierten Folgeblättern. In entsprechender Weise konnte *Klebs* für andere Objekte dartun, daß mit der relativen Zunahme der organischen Stoffe ein Übergang von rein vegetativem Gedeihen — Anlage von Laubblättern — zur Produktion von Blüten stattfindet. In dieser Richtung bewegen sich nun auch die Anschauungen Goethes. „Seiner Betrachtung liegt der Gedanke zugrunde, daß der Vegetationspunkt befähigt ist, sämtliche Blattformen der Spezies sowie die Blüten Teile hervorzubringen, und daß die Entscheidung darüber, welche Blattform jeweils gebildet wird, von der Beschaffenheit der dem Vegetationspunkte zufließenden Säfte abhängt.“ Goethe spricht von „wässerigten“ und „verfeinerten“ Säften, die wässerigten bewirken die Anlage von primitiven, die verfeinerten eine solche von komplizierteren Blättern und dann von Blütenorganen — je nach dem Grade der Verfeinerung. Diese „Verfeinerung“ ist auf den Einfluß von Licht und Luft zurückzuführen. Es läßt sich der Nachweis erbringen, daß Goethe hierbei an die Kohlensäureassimilation, die ja unter Mitwirkung des Lichts und unter Verwertung der Kohlensäure der Luft organische Substanz schafft, denkt. So entspricht denn der Gegensatz von wässerigten und verfeinerten Säften offenbar dem Begriffspaar: Nährsalze und organische Substanzen. Es liegt an dem damaligen Stande der Forschung, wenn sich bei Goethe in der weiteren Ausgestaltung dieses Gedankens einige unklare Momente einschleichen, wenn beispielsweise für die Verfeinerung der Säfte eine Filtration durch die Gefäße mit herangezogen wird. Sehen wir aber von diesen historisch notwendigen Unzulänglichkeiten ab, dann tritt uns hier die moderne Anschauung schon in deutlich greifbarer Form vor Augen — einer von jenen zahlreichen Fällen, wo Goethe mit sicherem Takt Folgerungen aus zeitgenössischen Ergebnissen gezogen hat, die von der Wissenschaft erst viel später anerkannt worden sind.

P. Stark.

⁴⁾ Zahlenangaben A. Köhl, Wesen u. Veränderlichkeit d. Konturen opt. Bilder, Vortr. a. d. Vers. d. internat. Astr. Ges. Pots., Aug. 1921, Centr. Ztg. f. Optik u. Mechanik, 1921, Heft 25. Deutsche Opt. Wochenschr. 1921, Heft 36.