©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das mechanische Äquivalent des Lichtes

(II. Mittheilung)

von

Dr. O. Tumlirz,

Privatdocent an der k. k. deutschen Universität in Prag.

(Mit 1 Textfigur.)

Der photometrischen Lichteinheit der Amylacetatlampe entspricht, wie ich in meiner letzten Arbeit[1] gezeigt habe, eine Ausstrahlung, deren Energie für jede Secunde einer Wärmemenge von

$$0 \cdot 00361 \ \frac{g \ \text{cal}}{\text{sec}}$$

oder einer Arbeitsmenge von

151500 abs. Arbeitseinh.

äquivalent ist. Diese Bestimmung erfordert noch eine Ergänzung. Das Licht der Amylacetatlampe dient nämlich im Allgemeinen als Einheit nur für solche Lichtquellen, welche weisses oder nahezu weisses Licht aussenden[2]; handelt es sich aber darum, die Leuchtkraft von Lichtquellen zu bestimmen, in deren Strahlen die Wellenlängen zwischen engeren Grenzen liegen, dann müssen wir berücksichtigen, dass Strahlen verschiedener Wellenlänge Empfindungen verschiedener Art auslösen und dass daher eine photometrische Gleichung nur zwischen homogenen Strahlen der-

---

[1] Diese Berichte, Bd. 98, Juni 1889.

[2] Das Licht der Amylacetatlampe ist, strenge genommen, nicht weiss, es hat vielmehr einen merklichen Stich ins Gelbe.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

selben Art, d. h. zwischen homogenen Strahlen von derselben Wellenlänge herstellbar ist. Wenn wir nun auch bei diesen photometrischen Messungen die Amylacetatlampe zu Grunde legen, indem wir z. B. das Licht, welches dieselbe zwischen den einander naheliegenden Wellenlängen λ_1 und λ_2 aussendet, für Strahlen von diesem Spectralbezirk als photometrische Einheit ansehen, so muss die erwähnte Bestimmung des mechanischen Äquivalentes noch dahin ergänzt werden, dass wir noch jene Energieen ermitteln, welche den einzelnen Spectralbezirken der Amylacetatflamme entsprechen.

Von den sich darbietenden Methoden habe ich vorläufig eine indirecte gewählt. Die Sonne gilt als eine Lichtquelle, von der wir sagen können, dass sie constant oder nahezu constant ist. Allerdings unterliegt die Intensität des zu uns gelangenden Lichtes durch die Vorgänge in unserer Atmosphäre sehr starken Veränderungen und auch die Zusammensetzung des Lichtes, d. h. das Energieverhältniss der einzelnen Wellenlängen, ist bei verschiedenem Stande der Sonne verschieden, halten wir uns aber immer an eine und dieselbe Zenithdistanz und stellen wir unsere Beobachtungen bei möglichst heiterem Himmel an, so dürfen wir wohl erwarten, dass, wenn auch nicht immer die absolute Intensität dieselbe ist, so doch die Zusammensetzung oder die relative Intensität der einzelnen Wellenlängen nahezu dieselbe sein wird Herr Langley („Energy and Vision", pag. 3, 1888) hat nun aus einigen Tausend Beobachtungen bei hohem Sonnenstande, und zwar bei einem Sonnenstande höher als 30° über dem Horizont oder, was dasselbe ist, bei einer mittleren Zenithdistanz von 30° für die Vertheilung der Energie im Normalspectrum die folgende Tabelle erhalten:

Tabelle I.

$\lambda =$	$0\cdot35\,\mu$,	$0\cdot38\,\mu$,	$0\cdot40\,\mu$,	$0\cdot45\,\mu$,	$0\cdot50\,\mu$,	$0\cdot55\,\mu$,	$0\cdot60\,\mu$
Wärme =	1·8,	3·7,	5·3,	11·9,	17·3,	20·7,	21·9
$\lambda =$	$0\cdot65\,\mu$,	$0\cdot70\,\mu$,	$0\cdot75\,\mu$,	$0\cdot768\,\mu$			
Wärme =	22·2,	21·4,	20·7,	20·2.			

Wenn wir also bei derselben mittleren Zenithdistanz und bei einer möglichst grossen Zahl von Versuchen die einzelnen Spectralbezirke der Amylacetatlampe mit den entsprechenden

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Spectralbezirken des Sonnenlichtes vergleichen, so können wir sehr leicht mit Hilfe dieser Tabelle die relativen Intensitäten der einzelnen Wellenlängen der Amylacetatlampe bestimmen.

Die Vergleichung erfordert natürlich, dass wir die ausserordentliche Intensität des Sonnenlichtes in einer für alle Strahlen berechenbaren Weise so abschwächen, dass dieselbe nach der Schwächung mit der Intensität der Amylacetatlampe von derselben Grössenordnung wird. Ich erreichte dies auf folgende Weise. Zunächst fiel das Sonnenlicht auf einen Heliostatenspiegel aus schwarzem Glas, wobei der Einfallswinkel im Mittel 55° betrug, und hierauf nach der Reflexion durch eine 6 *mm* weite Spalte, hinter welcher sich eine Cuvette (Figur) aus Spiegelglasplatten befand, von denen zwei (dieselben sind in der Figur schraffirt) aus schwarzem Obsidianglas bestanden. Treten die Strahlen bei *A* durch eine durchsichtige Spiegelglasplatte in die Cuvette ein, so werden sie bei *B* und *C* an den schwarzen Platten reflectirt, um bei *D* wieder durch eine durchsichtige Platte auszutreten.

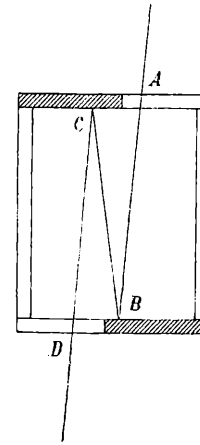

Fig. 1.

Wir wollen die Schwächung zunächst für die Strahlen der *B*-Linie berechnen. Durch die Reflexion am Heliostatenspiegel erfahren die Strahlen eine Schwächung in dem Verhältnisse

$$1 : 0 \cdot 07347.$$

Beim Durchgange durch die Platten *A* und *D* beträgt die Schwächung, wenn die Cuvette leer ist, jedesmal

$$1 : 0 \cdot 9174$$

und bei der Reflexion in *B* und *C* jedesmal

$$1 : 0 \cdot 04314.$$

Es verhält sich also das auf den Heliostatenspiegel auffallende Licht von der Wellenlänge der Linie *B* zu dem aus der Cuvette austretenden wie

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

$$1 : 0 \cdot 07347 \times 0 \cdot 9174^2 \times 0 \cdot 04314^2$$

oder wie

$$1 : 0 \cdot 0001151 .$$

Würden wir in die Cuvette destillirtes Wasser giessen, dann würde die Schwächung eine noch bedeutend grössere werden, für unsere Zwecke aber war die Schwächung bei leerer Cuvette gross genug.

Wenn wir nun die Rechnung, welche wir für die Strahlen der *B*-Linie angestellt haben, in derselben Weise auch für die anderen Farben durchführen und dabei für das schwarze Glas die Brechungsverhältnisse von Crownglas zu Grunde legen, so erhalten wir

B	*C*	*D*	*E*
$1 \cdot 151 \times 10^{-4}$,	$1 \cdot 159 \times 10^{-4}$,	$1 \cdot 182 \times 10^{-4}$,	$1 \cdot 212 \times 10^{-4}$,

F	*G*	*H*
$1 \cdot 238 \times 10^{-4}$,	$1 \cdot 286 \times 10^{-4}$,	$1 \cdot 340 \times 10^{-4}$.

Nach dem Austritte aus der Cuvette fielen die Sonnenstrahlen auf den Colimator eines Spectralapparates mit Vierordt'schem Doppelspalt. Während das Sonnenlicht durch die obere Spalte in der Richtung der Colimatorachse eintrat, war die untere Spalte mit einem rechtwinkeligen totalreflectirenden Prisma bedeckt, welches ihr das Licht der seitwärts stehenden Amylacetatlampe zuführte. Weil das Licht, welches von den verschiedenen Theilen der Flamme kommt verschieden zusammengesetzt ist, so wurde die Aufstellung getroffen, dass die Flamme eine grössere Entfernung von dem totalreflectirenden Prisma hatte und der hellste und zugleich weisseste Theil der Flamme mit dem oberen Theile des Prismas gleich hoch lag.

Die Messung wurde wie gewöhnlich durchgeführt; ein verticaler schmaler Ocularspalt blendete aus den beiden übereinander stehenden Spectren zwei Spectralbezirke derselben Art aus und diese wurden bei völlig verdunkeltem Zimmer durch Veränderung der unteren Spaltbreite einander gleich gemacht. Nicht unerwähnt darf bleiben, dass immer mit grosser Sorgfalt darauf gesehen wurde, dass die einfallenden Sonnenstrahlen stets dieselbe Richtung hatten.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die folgende Tabelle enthält zunächst in der ersten Columne die Wellenlängen jener Strahlen, welche gerade in der Mitte des ausgeblendeten Spectralbezirkes gelegen waren, in der zweiten die relativen Intensitäten dieser Strahlen im Sonnenlichte vor dem Auffallen auf den Heliostatenspiegel, in der dritten das Verhältniss der Schwächung durch die Reflexion am Heliostatenspiegel und durch den Durchgang durch die Cuvette und in der vierten Columne die relativen Intensitäten i der erwähnten Sonnenstrahlen beim Durchgange durch die obere Spalte des Colimators. Die Zahlen sind so zu verstehen, dass wenn wir die Wellenlängen mit λ_1, λ_2, λ_3 bezeichnen, die relativen Intensitäten i_1, i_2, i_3 jene Lichtmengen vorstellen, welche beziehungsweise zwischen λ_1 und $\lambda_1+\Delta\lambda$, λ_2 und $\lambda_2+\Delta\lambda$, λ_3 und $\lambda_3+\Delta\lambda$, einfallen, wobei $\Delta\lambda$ immer constant zu nehmen ist.

Tabelle II.

0·702 μ	21·4	$1\cdot147\times10^{-4}$	24·5
0·656	22·1	$1\cdot159\times10^{-4}$	25·6
0·617	22·0	$1\cdot172\times10^{-4}$	25·8
0·589	21·6	$1\cdot182\times10^{-4}$	25·5
0·560	20·9	$1\cdot195\times10^{-4}$	25·0
0·536	19·7	$1\cdot206\times10^{-4}$	23·8
0·518	18·5	$1\cdot218\times10^{-4}$	22·5
0·500	17·3	$1\cdot229\times10^{-4}$	21·3
0·486	15·8	$1\cdot238\times10^{-4}$	19·6
0·473	14·4	$1\cdot249\times10^{-4}$	18·0
0·462	13·2	$1\cdot259\times10^{-4}$	16·6
0·452	12·1	$1\cdot267\times10^{-4}$	15·3
0·441	10·7	$1\cdot277\times10^{-4}$	13·7
0·430	9·3	$1\cdot286\times10^{-4}$	12·0

Wenn wir nun die durch den Ocularspalt ausgeblendeten Spectralbezirke photometrisch gleich machen, so können wir immer sagen, dass zwischen λ und $\lambda+\Delta\lambda$ oben und unten dieselbe

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lichtmenge eintritt. Ist bei λ_1 die Breite der unteren Spalte n_1, so ist klar, dass wenn wir dieser Spalte die Breite m der oberen Spalte (dieselbe lassen wir constant) geben würden, eine Lichtmenge einfallen würde, welche sich zu i_1 so verhielte wie $m : n_1$ d. h. die Lichtmenge

$$\frac{m}{n_1} \cdot i_1 .$$

Hat die untere Spalte bei der photometrischen Gleichheit für die Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ die Breite n_1, n_2, n_3 ., dann ergibt sich aus dem Gesagten, dass die Amylacetatlampe bei der constanten Spaltenbreite m zwischen λ_1 und $\lambda_1 + \Delta\lambda$, λ_2 und $\lambda_2 + \Delta\lambda$, λ_3 und $\lambda_3 + \Delta\lambda$ [$\Delta\lambda =$ const.] die Lichtmengen

$$\frac{m\, i_1}{n_1}, \quad \frac{m\, i_2}{n_2}, \quad \frac{m\, i_3}{n_3},$$

durch die Spalte hindurchsenden würde.

Die Zahlen $\frac{m}{n_1}, \frac{m}{n_2}, \frac{m}{n_3}$ geben an, wie vielmal mehr Licht von der Wellenlänge $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ die Amylacetatlampe durch dieselbe Spalte sendet als die Sonne. Ihre Bestimmung bildet den Hauptinhalt der vorliegenden Arbeit.

Es wurden, wie schon erwähnt, bei möglichst heiterem Himmel und bei einer mittleren Zenithdistanz der Sonne von 30° die Versuche in der Weise angestellt, dass die durch den Ocularspalt ausgeblendeten Spectralbezirke für die angegebenen Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ zunächst in der Reihenfolge $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ und dann umgekehrt gleichgemacht wurden. Indem ich aus den zusammengehörigen Zahlen der beiden Reihen das Mittel bildete, erhielt ich die Zahlen einer Versuchsreihe. Ich habe mit Rücksicht auf die grosse Zahl der Langley'schen Beobachtungen 30 Versuchsreihen angestellt.

Bezeichnen wir das Verhältniss $\frac{m}{n}$ für die Wellenlänge $0 \cdot 656\,\mu$ (Linie C) mit 100, so lautet das Ergebniss dieser 30 Versuchsreihen folgendermassen:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle III.

$\lambda =$	702 μ,	0·656 μ,	0·617 μ,	0·589 μ,	0·560 μ,	0·536 μ
$\frac{m}{n} =$	129·3,	100,	79·5,	60·7,	44·6,	32·6
$\lambda =$	0·518 μ,	0·500 μ,	0·486 μ,	0·473 μ,	0·462 μ,	0·452 μ,	0·441 μ
$\frac{m}{n} =$	25·8,	19·4,	15·0,	12·1,	9·9,	9·4,	8·4

Die Multiplication dieser Zahlen mit den Intensitäten i_1, i_2, i_3 führt zu den relativen Intensitäten:

Tabelle IV.

$\lambda =$	0·702 μ,	0·656 μ,	0·617 μ,	0·589 μ,	0·560 μ,	0·536 μ
	3170,	2560,	2050,	1550,	1120,	776
$\lambda =$	0·518 μ,	0·500 μ,	0·486 μ,	0·473 μ,	0·462 μ,	0·452 μ,	0·441 μ
	581,	413,	294,	218,	164,	144,	115

oder wenn wir die Relativzahlen durch 50 dividiren, zu:

63·4, 51·2, 41·0, 31·0, 22·4, 15·5,
11·6, 8·3, 5·9, 4·4, 3·3, 2·9, 2·3.

In dieser Reihe fehlt noch der Anfang und das Ende des sichtbaren Spectrums. Um die relativen Intensitäten für das ganze sichtbare Spectrum von $\lambda = 0 \cdot 40\,\mu$ bis $\lambda = 0 \cdot 76\,\mu$ zu erhalten, wollen wir aus den zuletzt gefundenen Zahlen durch Extrapolation jene relativen Intensitäten berechnen, welche für die Wellenlängen $0 \cdot 40\,\mu$, $0 \cdot 42\,\mu$ und $0 \cdot 72\,\mu$, $0 \cdot 74\,\mu$, $0 \cdot 76\,\mu$ gelten. Die Rechnung ergibt beziehungsweise 1·4, 1·7 und 68·2, 73·4, 78·6.

Werden nun die Wellenlängen als Abscissen und die relativen Intensitäten als Ordinaten aufgetragen, so erhält man eine Curve, welche die Vertheilung der Energie wiedergibt. Entspricht der Fläche, welche von dieser Curve, der Abscissenachse und den Ordinaten bei $\lambda = 0 \cdot 40\,\mu$ und $\lambda = 0 \cdot 76\,\mu$ begrenzt wird, die gesammte, der photometrischen Lichteinheit entsprechende Lichtenergie der Flamme, dann entspricht jenes Flächenstück, welches zwischen den Ordinaten bei den Wellenlängen λ_ν und $\lambda_{\nu+1}$ gelegen ist, dem Antheile dieses Spectralbezirkes an dieser Energie.

In der folgenden Tabelle enthält die erste Reihe die Wellenlängen, die zweite die relativen Intensitäten, die dritte das zwischen zwei aufeinander folgenden Wellenlängen der ersten

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Reihe gelegene Flächenstück f — die Summe aller f gibt die gesammte Fläche F — und die vierte Reihe das Verhältniss f/F, d. h. den Antheil des zwischen den in der Tabelle aufeinander folgenden Wellenlängen λ_ν und $\lambda_{\nu+1}$ gelegenen Spectralbezirkes an der gesammten, der Lichteinheit entsprechenden Lichtenergie, welche, wie wir gesehen haben, 151500 abs. Arbeitseinheiten beträgt. Wir können dies auch so ausdrücken: Steht der Amylacetatlampe eine verticale Fläche von einem Quadratcentimeter Inhalt in einer Entfernung von einem Meter so gegenüber, dass die Normale durch die Flammenmitte hindurchgeht, so empfängt diese Fläche in jeder Secunde zwischen den in der Tabelle aufeinander folgenden Wellenlängen λ_ν und $\lambda_{\nu+1}$ die Energie

$$15 \cdot 15 \times \frac{f_\nu}{F} \text{ abs. Arbeitseinh.}$$

Tabelle V.[1]

$\lambda(\mu)$		f	$\frac{f}{F}$
0·76	78·6*		
0·74	73·4*	1·520*	0·1315*
0·72	68·2*	1·416*	0·1225*
0·702	63·4	1·184*	0·1025*
0·656	51·2	2·636	0·2281
0·617	41·0	1·798	0·1556
0·589	31·0	1·008	0·0872
0·560	22·4	0·774	0·0670
0·536	15·5	0·455	0·0394
0·518	11·6	0·244	0·0211
0·500	8·3	0·179	0·0155
0·486	5·9	0·099	0·0086
0·473	4·4	0·067	0·0058
0·462	3·3	0·042	0·0036
0·452	2·9	0·031	0·0027
0·441	2·3	0·029	0·0025
0·420	1·7*	0·042*	0·0036*
0·400	1·4*	0·031*	0·0027*
		$F = 11·555$	

Der Ausführlichkeit halber will ich die oben angedeutete Rechnung für mehrere Spectralbezirke durchführen. Die besagte von der Flamme bestrahlte Fläche erhält in jeder Secunde:

[1] Die mit dem Zeichen * versehenen Zahlen sind durch Extrapolation gefunden worden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zwischen	$\lambda = 0 \cdot 70\,\mu$	und	$\lambda = 0 \cdot 65\,\mu$	$3 \cdot 69$ abs. Arb.
	$\lambda = 0 \cdot 65\,\mu$		$\lambda = 0 \cdot 60\,\mu$	$2 \cdot 77$
	$\lambda = 0 \cdot 60\,\mu$		$\lambda = 0 \cdot 55\,\mu$	$1 \cdot 76$
	$\lambda = 0 \cdot 55\,\mu$	„	$\lambda = 0 \cdot 50\,\mu$	$0 \cdot 88$
	$\lambda = 0 \cdot 50\,\mu$		$\lambda = 0 \cdot 45\,\mu$	$0 \cdot 32$

Zum Schlusse fühle ich mich angenehm verpflichtet, Herrn Prof. Mach, welcher mich zur Bestimmung des mechanischen Lichtäquivalentes angeregt hat, und Herrn Prof. Hofmeister für die freundliche Überlassung seines Spectralapparates meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: 98_2a

Autor(en)/Author(s): Tumlirz Otto

Artikel/Article: Das mechanische Äquivalent des Lichtes 1121-1129