© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

# Abbildung und Beschreibung

des

# Universal-Vibrations-Photometers

vom

*Conservator Dr. Schafhäutl.*
ord. Mitglied der k. Akademie der Wissenschaften.

---

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

# Abbildung und Beschreibung
des
# Universal-Vibrations-Photometers
vom
## *Conservator Dr. Schafhäutl.*

Viel früher stellte sich das Bedürfniss heraus, einen Massstab für die Lichtstärke leuchtender Körper als für die Stärke des Schalles zu erhalten. Seitdem sich Gelehrte mit Astronomie beschäftigten und Sterne beschrieben, waren sie genöthigt, die Lichtstärke der verschiedenen Sterne wenigstens dem Augenmasse nach anzugeben, und nach dem Eindruck, welchen die grössere oder geringere Lichtintensität der Sterne auf der Retina des Auges hervorbrachte, theilte man die Fixsterne auch in Sterne von verschiedenen Grössen.

Gerade die Astronomie, welche eines messenden Instrumentes für die verschiedenen Lichtstärken der Sterne seit Jahrhunderten nöthig hatte, eines Instrumentes, das in Beziehung auf Schärfe der Messung wenigstens einigermassen mit der Ausbildung der übrigen astronomischen Messwerkzeuge gleichen Schritt hielt — dachte zuletzt an die Construction eines solchen Instrumentes.

Es war der Physiker Wollaston der erste, der ein Photometer auf rein physikalische Prinzipien gegründet, herstellte, welches erlaubte, zwei

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Lichtquellen oder wenigstens die hinter optischen Linsen entstandenen Bilder dieser Lichtquellen mit einander messend zu vergleichen.

Wollaston nämlich verglich das Licht der Sonne mit dem einer Kerzenflamme dadurch, dass er das von einer Quecksilberkugel reflectirte Sonnenbild durch ein Fernrohr mit einem Auge betrachtete, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinse mit dem andern Auge, und dann durch Veränderung der Abstände der Linse vom Auge beide Bilder gleichhell zu machen suchte.

Steinheil's Prismen-Photometer beruht auf ähnlicher Grundlage. Es verwandelt Sterne verschiedener Grösse durch Verstellung der Objectivhälften des Photometers in gleich helle Scheiben, und berechnet dann aus diesen und dem Durchmesser der Scheiben die relativen Intensitäten des Lichtes der Sterne.

Steinheil's Construction liefert unstreitig das vollendetste und für delicate Messungen am bessten passende Instrument. Indessen kann es seiner Construction nach nur zur Vergleichung der Lichtstärke selbstleuchtender entfernter oder wenigstens stark beleuchteter Körper dienen.

Ritchie hatte schon früher ein Photometer im Allgemeinen nach demselben Prinzipe vergeschlagen. Anstatt jedoch die Lichtquellen unmittelbar mit einander zu vergleichen und sie in so verschiedenen Entfernungen aufs Auge wirken zu lassen, dass beide Lichtquellen eine gleiche Intensität zu erhalten schienen, wählte er zu diesem Zwecke das von zwei Flächen reflectirte Licht dieser Lichtquellen.

Talbots Photometer beruht auf einem ähnlichen Prinzipe.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Bunsen wählte zur Vergleichung zweier Lichtquellen eine Papierfläche, von welcher das Licht der einen Lichtquelle an einer Stelle reflectirt, das der andern Lichtquelle an einer andern Stelle zu gleicher Zeit durchgelassen wurde.

Auch hier wird die Entfernung des Papieres von beiden Lichtquellen so lange verändert, bis das reflectirte und durchgelassene Licht einander gleich erscheinen.

Durch alle diese Instrumente lässt sich nur reflectirtes Licht einer Lichtquelle durch Vergleichung mittelst des Augenmasses bestimmen, und die Schärfe dieser Bestimmung hängt also lediglich von einer sehr unsicheren Schätzung ab.

An derselben Unsicherheit innerhalb gewisser Grenzen leidet Rumfords Photometer. Es soll die relative Intensität zweier Lichtquellen messen durch Vergleichung zweier Schatten auf von den Lichtquellen beleuchtetem weissem Grunde. Allein alle künstlichen Lichter von verschiedenen Intensitäten werfen verschieden gefärbte Schatten, so, dass eine eigentliche scharfe Vergleichung nicht mehr wohl möglich ist, und wenn sie auch möglich wäre, immer deshalb unsicher sein muss, weil wir zur Vergleichung der Intensitäten beider Schatten keinen andern Massstab haben, als unser Gefühl, oder auch die Fertigkeit unseres Geistes, die Grade des Eindruckes zweier Schatten auf unsern Gesichtssinn richtig mit einander zu vergleichen.

Da indessen das Licht neben seiner Erleuchtung und Sichtbarmachung von Gegenständen im Raume auch noch durch Erwärmung und chemische Wirkung nicht allein sichtbare, sondern auch messbare Veränderungen in gewissen Körpern hervorbringt, welche im Allgemeinen stets wieder nach Belieben in demselben Grade hervorgerufen werden können; so sind uns durch eben diese Eigenschaften des Lichtes weitere

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Anhaltspunkte zur Construction von Photometern gegeben, welche sich jedoch auch nur unter gewissen Umständen anwenden lassen und noch weniger sichere Resultate geben.

Johann Herschel hat z. B. Bromsilber auf Papier gestrichen, als photometrische Substanz angewandt; aber auf dieses wirkt nur Tageslicht allein, von künstlichem, directem oder reflectirtem Lichte wird es nicht afficirt.

Als vor etwa 17 Jahren vom englischen Parlamente die Aufgabe gestellt wurde, Photometrische Messungen zwischen dem sogenannten Bude-Licht und gewöhnlichen Gasflammen anzustellen, versagten alle die damals bekannten Photometer ihren Dienst.

In einem Gespräche mit dem englischen Ingenieur Parkes zu London über diesen Umstand, fiel mir ein Instrument bei, das ich damals schon vor 13 Jahren zu München construirt hatte, um die Dauer eines Lichteindruckes auf das Auge zu messen; ferner dass, da diese Dauer eines Lichteindruckes in einem gewissen Verhältnisse mit der Intensität des Lichtstrahles stehen muss, diese Dauer eines Lichteindruckes zugleich auch als Mass dienen könnte, die Intensität oder Stärke eines Lichteindruckes zu bestimmen. Wenn die Empfindung von Licht auf der Retina unsers Auges durch Wellenschläge des Aethers auf diese Retina entsteht, so müssen sich diese Wellenschläge in der Hauptsache nach den Gesetzen der Wellenbewegung in elastischen Medien richten, so, dass, wenn z. B. der Eindruck von einer gewissen Farbe auf unser Auge durch eine in einem bestimmten Zeitraume erfolgende Anzahl von Wellenschlägen bestimmt wird — die Intensität dieser Farbe von der Amplitude der Schwingungen der Aethertheilchen abhängen muss.

Nun steht aber die Intensität der Undulationen aller gasförmigen Medien sowohl, als die des Aethers im Verhältnisse des Quadrats der ab-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



soluten Geschwindigkeit eines Aethermolecules, oder des Quadrates der Amplitüde dieser Schwingungen.

Wir haben alle Gründe für uns, anzunehmen, dass jede Lichtwelle nach dem Gesetze der vis viva dieser schwingenden Molecule eine ähnliche schwingende Bewegung in den Nerven der Netzhaut unsers Auges hervorbringe*).

Die Grösse dieser schwingenden Bewegung hängt natürlich von der Grösse der Originalgeschwindigkeit der Aethertheilchen ab, und sobald wir diese Originalgeschwindigkeit auf irgend eine Weise messen können, haben wir auch das Mass der Intensität der Lichtwelle.

Es ist kaum möglich, eine Messung dieser Geschwindigkeit direct zu machen; aber da die Zeit, in der ein oscillirender Körper zur Ruhe kömmt, hauptsächlich im Verhältnisse zu der Amplitüde der Oscillationen eines vibrirenden Körpers, und also zur Geschwindigkeit desselben steht, so könnten wir, wenn wir nur im Stande wären, die Zeit zu messen, in welcher der schwingende Nerve wieder zur Ruhe kömmt, oder die Zeit zwischen dem Anfangen und Aufhören des Lichteindrucks im Auge, — gar wohl auf die Grösse der Originalgeschwindigkeit der anregenden Molecule des Aethers schliessen. Nun handelt es sich hier aber um eine rein mechanische Frage: Die Nerven der Retina verhalten sich, wie ein ruhender, widerstehender fester Körper einem bewegten gegenüber; und da sich nach längst bekannten Gesetzen der Widerstand eines solchen gestossenen Körpers verhält, wie die Quadrate der Geschwindigkeiten des stossenden Körpers, so wird die Intensität der Welle oder des Stosses sich verhalten, wie das Quadrat der Grösse der Amplitüde und also auch der Dauer einer Vibration oder eines Lichteindruckes auf die Retina.

---

*) *J. F. W. Herschel* on Light. London 4°. 1839. 578.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Die Hauptaufgabe ist also, unter diesen Umständen die Dauer solch eines Lichteindruckes auf die Retina so genau als möglich zu messen. Da die Zeit dieser Dauer sehr klein ist, so reichen unsere gewöhnlichen Mess- und Zählapparate nicht mehr hin.

Aimé construirte vor einigen Jahren für diesen Zweck gleichfalls einen Apparat, dessen Resultate zuverlässiger waren, als die bis dahin zu diesem Zwecke construirten. Er bediente sich nämlich zweier Scheiben aus Pappe, die sich an derselben Achse, doch nach entgegengesetzten Richtungen drehten. Die erste Scheibe war bloss mit einem Loche durchbohrt, die zweite hatte mehrere gleichweit von einander abstehende. Aus der Coincidenz dieser Löcher, der Dauer einer Revolution und dem Abstande der Löcher der zweiten Scheibe von einander, ward dann die Dauer eines Lichteindruckes berechnet. Aus diesen Angaben ist zu ersehen, dass man mit dieser Construction nur bedingte und annähernde Resultate erhalten konnte.

Schon damals, als ich vor 30 Jahren den Plan zu meinem ersten Instrumente entwarf, überzeugt, dass man bei Messung so kleiner Zeiträume nie ein beachtungswerthes Resultat erhalten würde, wenn die Maschine, die den Eindruck im Auge erregt, und diejenige, welche die Zeit seines Anfanges und Endes misst, von einander abgesondert, oder nicht eine und dieselbe wären, wählte ich ein einfaches Pendel, dessen Schwingungen mir die Zeit angaben, während dessen Linse den zu messenden Lichteindruck im Auge erregte. Die obigen schwierigen Messungen fielen hier ganz weg, und von der Maschine selbst war weiter nichts abzulesen, als die Länge des Pendels.

Da einfache Pendel von solcher Kürze nicht wohl zu construiren waren, die schnell genug vibrirten, um so kleine Zeiträume zu messen, so wählte ich statt der Pendelstange eine *Stahlfeder*, Taf. I. et II. fig. a, die an ihrem untern Ende befestigt, an ihrem obern Ende statt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



der Linse einen rectangulären Schirm aus dünnem, geschwärztem Kupferbleche trägt (b), der in der Mitte von einer rectangulären Oeffnung von bekannter Grösse durchbrochen ist.

Das erste Instrument dieser Art, welches ich noch in England construirte, habe ich an unserer Akademie in einer Sitzung der mathematisch physikalischen Klasse im Jahre 1843 vorgezeigt und in den Bulletins derselben vom 28. Juli 1843 pag. 388 beschrieben. Da indessen das Instrument nicht durch Zeichnungen erläutert war, so musste bei der Beschreibung desselben Manches in's Dunkel gehüllt bleiben. Als Erstling hatte es überdiess noch manche Unvollkommenheiten. Es wurde mittelst einer Zwinge an einen Tisch angeschraubt; ebenso waren die Haupttheile zu schwach gebaut, so dass die Schwingungen der Feder, wenn sie kurz wurde, auch das Instrument in Schwingungen versetzte.

Bei dem Instrumente, welches ich gegenwärtig in einer detaillirten Zeichnung vorlege und das sich seit einigen Jahren durch den Gebrauch auch in Hinsicht auf Festigkeit bewährt hat, ist:

die Länge der freien Feder = $438^{mm}$
die Breite der Feder $8{,}0^{mm}$
die Dicke der Feder $0{,}6^{mm}$

Schwingt die Feder mit ganzer Länge, so lassen sich ihre Schwingungen, auch ohne durch den aufgesteckten Schirm b verlangsamt zu seyn, noch recht gut zählen.

Die Feder ohne Schirm macht als Mittel aus zahlreichen Beobachtungen gewonnen, 159 doppelte Schläge in der Minute bei 16° Reaum.

Jeder der Schirme wiegt 3,765 Gramm, und durch dieses aufgesteckte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Gewicht werden die Federschwingungen auf 120 Doppelschläge oder 240 einfache verlangsamt.

Die Vibrationen der verkürzten Feder kann man ebenso leicht bestimmen, da man die Schwingungen, wenn auch nicht mehr sehen, doch dagegen hören kann.

Ist die Feder bis auf 10 Grade verkürzt worden, so macht sie ohne Schirm

698,46 Schläge = $\overline{f}$

mit dem Schirm 440 Schläge = a.

Der Ton der Feder wird also bei dieser Länge durch den Schirm um das musikalische Intervall einer Sexte vertieft.

Die Zahl für das Verhältniss der Verlangsamung der Schwingungen durch den Schirm ist bei 10 Federlänge 0,3701, bei 100 Federlänge 0,244.

Man sieht also, dass, je kürzer die Feder wird, der Schirm desto mehr retardirend auf die Schwingungen wirkt.

Die Oeffnungen oder Schlitze in den Schirmen bilden Parallelogramme mit der langen Seite vertikal gestellt.

Die Oeffnungen in den Schiebern sind kreisrund.

Oeffnung der Schirme:

| Nro. | Nro. | Nro. | Nro. |
|---|---|---|---|
| I. | II. | III. | IV. |
| 0,5$^{mm}$ | 1,0$^{mm}$ | 1,5$^{mm}$ | 2,3$^{mm}$ |

Die Feder ist natürlich mit ihrem untern Fnde fest eingeschraubt in eine kurze Zwinge Tb. II. fig. c, die rechtwinklig an einer cylindri-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



schen vertikalen Säule d befestigt ist, welche parallel mit der Feder und von gleicher Höhe mit derselben ist. In die vertikale Säule d ist an ihrer hintern, der Feder entgegengesetzten Seite ein Zahnrechen e eingelassen; die Säule selbst aber von einer Hülse f dicht umschlossen, die vermittelst eines in ihr angebrachten horizontalen, in den Zahnrechen eingreifenden Getriebes ohne zu wanken auf und nieder bewegt werden kann, ähnlich der Vorrichtung an manchen Mikroskopen, welche den Objectträger oder die Bühne regulirt.

Statt des Objectträgers ist bei meinem Apparate die Zwinge Tf. II. fig. h angebracht, welche die vibrirende Feder fest umschliesst, aber doch so, dass sie sich an ihr auf- und niederschieben lässt, ohne indess der Feder den geringsten Spielraum zu verstatten.

Dazu ist nothwendig, dass die breiten Seiten der Feder einander vollkommen parallel sind, oder dass die Feder durchaus gleich dick sei.

Um aber namentlich bei verkürzter Feder mittelst dieser Zwinge die Feder so fest als möglich zu fassen, sind in der Deckplatte die zwei Schräubchen hi hi angebracht, von welchen man die zwei obern nur etwas anziehen darf, um die Feder so fest als möglich zu fassen; wäre dieses nicht der Fall, so würden die Schwingungen der Feder höchst unvollständig seyn.

Diese Zwinge bestimmt die eigentliche Länge der Feder, welche also nach Gefallen verkürzt werden kann, um innerhalb einer gewissen Grenze jede mögliche Anzahl von Schwingungen hervorzubringen.

Die eine Seite der vertikalen cylindrischen Säule, welche den Zahnrechen trägt, ist in 100 Theile getheilt, und die sich an ihr auf- und niederschiebende Hülse f trägt einen Nonius, vermittelst dessen noch ein Tausendtheil der Federlänge leicht bestimmt werden kann. Kennt man

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



dann einmal genau die Zahl der Schwingungen, welche die Feder in ihrer ganzen Länge in einer Sekunde macht, so lässt sich natürlich die Zahl der Schwingungen, die sie bei jeder beliebigen Verkürzung machen wird, leicht berechnen.

Die vertikale cylindrische Säule mit dem Zahnrechen trägt an ihrem obern Ende eine horizontale, von Dioptern k geschlossene Röhre Tf. II. ffg. i in solcher Höhe, dass der Schlitz in dem Schirme b der vibrirenden Feder während jeder Vibration die Axe dieser Diopternröhre einmal schneiden muss. Gesetzt nun, wir bringen das Auge an das Ocular-Diopter unserer horizontalen Röhre (i), so wird, so lange die Feder in Ruhe ist, der schwarze Schirm das Eindringen jedes Lichtstrahles in unser Auge durch die Diopter verhindern.

Bringen wir jedoch die Feder in Schwingungen von einer dem Diameter des Schirmes angemessenen Amplitüde (die Schwingungsamplitüde der Feder ist in der Tafel I. der Deutlichkeit halber viel zu gross gezeichnet), so wird, indem die Oeffnung im Schirme die Axe der Dioptern schneidet, während der Zeit dieses Schneidens einem Lichtstrahlenbündel verstattet, in unser Auge zu dringen, das heisst, einen *Lichteindruck* auf der Retina unsers Auges hervorbringen, der sogleich wieder verschwindet und erst wieder erneuert wird, wenn die Oeffnung im Schirme der Feder beim zweiten Theil ihrer Schwingung in der entgegengesetzten Richtung die Achse der Diopternröhre i schneidet.

Die Zeit, die zwischen zwei solchen Lichteindrücken verfliesst, ist gleich der Dauer einer Schwingung, die aus der Länge der vibrirenden Feder leicht berechnet werden kann.

Jeder dieser Strahlenbündel nun, der die Retina in dem Momente trifft, in welchem die Schirmöffnung die Achse der Diopternröhre schneidet, wird auf der Retina Schwingungen hervorrufen, die mit der Schwingungs-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Amplitude der Originalwelle in einem bestimmten Verhältnisse stehen und fortdauern, wenn die erregende Original-Ursache bereits zu wirken aufgehört hat, die aber desto länger dauern werden, je grösser die Gewalt des ersten Eindrucks der Lichtwelle oder des Strahlenbündels war.

Dauert der erste Eindruck auf der Retina länger, oder so lange fort, bis der zweite Lichteindruck auf der Retina bei der zweiten Schwingung des Pendels oder der Feder erfolgt, so wird der Lichteindruck im Auge fortzudauern scheinen, so lange die Feder mit dem Schirme schwingt, trotz des regelmässigen Aufhörens der erregenden Ursache; dauert hingegen der Lichteindruck nicht bis zum Beginne des nächsten Lichteindruckes der nächsten Schwingung, so wird zwischen den mit jeder Schwingung correspondirenden Lichteindrücken ein dunkles Intervall folgen, oder der Lichteindruck wird wenigstens an Intensität abnehmen und wieder zur vollen Intensität steigen mit der zurückkehrenden Schwingung des Schirmes, das heisst: das leuchtende Bild wird zu zittern scheinen. In beiden Fällen haben wir noch kein Maas der Dauer des leuchtenden oder des dunkeln Intervalls. Gesetzt nun, wir haben die Schwingungen unsrer Feder in so weit verlangsamt, dass wir ein dunkles Intervall zwischen zwei leuchtenden Eindrücken, oder überhaupt ein Zittern des Lichthildes bemerken, so dürfen wir nur mittels des Getriebes die Feder so lange behutsam verkürzen, daher die Zahl der Schwingungen der Feder vermehren, bis kein dunkles Intervall zwischen zwei leuchtenden Eindrücken bemerkt wird, d. h. bis die Dauer eines Lichteindruckes so lange anhält, bis der zweite erfolgt, oder bis das *leuchtende Bild ruhig im Auge erscheint.* In diesem Falle ist natürlich die Dauer einer solchen Federschwingung der Dauer des Lichteindrucks gleich.

Da wir jede beliebige Länge der Feder mittel unsrer Vorrichtung sehr genau messen können, so lässt sich auch die Anzahl der Schwin-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



gungen sehr leicht daraus berechnen; — denn diese Schwingungen werden sich umgekehrt verhalten, wie die *Quadrate der Federlängen,* und wenn wir also die bekannte Anzahl der Schwingungen der ganzen unverkürzten Feder in einer Sekunde mit dem Buchstaben n bezeichnen, die ganze Länge der Feder selbst mit L, die vermittels des Nonius abgelesene Länge der Feder hingegen mit l, die Anzahl der Schwingungen die der Federlänge l entsprechen mit N; so haben wir den Ausdruck $N = \frac{nL^2}{l^2}$, oder wenn wir die ursprüngliche Länge der Feder = 1 annehmen, so wird der Ausdruck noch einfacher. $N = \frac{n}{l^2}$.

In meinem vorliegenden Instrumente habe ich, wie schon vorher erwähnt wurde, die Zahl der Schwingungen der unverkürzten Feder, eine Anzahl, die sich noch sehr wohl zählen lässt, auf 4 Schwingungen in einer Sekunde bestimmt.

Nennen wir ferner die gesuchte Zeit der Dauer einer Vibration S, so ergiebt sich der Ausdruck $S = \frac{l^2}{n}$, der uns also auch die Zeit der Dauer eines Lichteindruckes gibt.

Oben aber haben wir gefunden, dass das Quadrat der Dauer eines Lichteindruckes auf der Retina gleich sei der Intensität dieses Lichtstrahls, oder wenn wir die Intensität des Lichtstrahls mit J bezeichnen, so haben wir $J = \frac{L^4}{n^2}$; bezeichnen wir die Intensität eines andern Lichtstrahlenbündels mit i, die entsprechende Länge der Feder mit l, so haben wir dafür wieder $i = \frac{l^4}{n^2}$; und wenn wir diese beiden Ausdrücke mit einander vergleichen, so ergibt sich das Verhältniss $\frac{J}{i} = \frac{L^4}{l^2}$.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Wir erhalten auf diese Weise ein Maass für den absoluten Glanz eines Gegenstandes, er mag nun keinen scheinbaren Durchmesser haben, wie z. B. die *Sterne,* oder einen merklichen Durchmesser besitzen, wie z. B. die Sonne, Kerzen oder Gasflammen oder auch beleuchtete Flächen.

Es kömmt jedoch viel häufiger bei photometrischen Aufgaben eine andere Frage zu erörtern, nämlich: Wie verhält sich die scheinbare Helligkeit eines leuchtenden Objects zu einer andern, das ist: wie viel Licht von gewisser Intensität sendet ein leuchtender Körper im Vergleiche mit einem andern leuchtenden Körper von verschiedener Area und Entfernung in unser Auge? Nun die scheinbare Helligkeit eines Gegenstandes ist nach *Herschel**) der Quotient der absoluten Helligkeit, dividirt durch das Quadrat seiner Entfernung vom Auge.

Die absolute Helligkeit aber eines Gegenstandes ist bekanntlich gleich dem Produkte aus dem absoluten Glanze und der Area des Gegenstandes.

Bezeichnen wir demnach, wie vorher, die grösste relative Länge der Feder mit L, die kleine mit l, den der grössten Federlänge entsprechenden Durchmesser des Objekts oder auch unserer Schirme mit $\Delta$, den der kleinen Federlänge entsprechenden Durchmesser des Objekts mit $\delta$; die dem Buchstaben $\Delta$ entsprechende Distanz des Objekts vom Auge, oder in unserer Maschine die Länge der Ocularröhre mit $A$ und die dem $\delta$ entsprechende Distanz des Objekts mit $\lambda$, so verwandelt sich unsere oben angegebene einfache zweite Formel $\frac{L}{l}$ in $\frac{L^4 \Delta^2 d^2}{l^4 \lambda^2 \Delta^2}$.

---

*) J. F. W. Herschel on light. 34.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Steht nun auch die erleuchtete Oberfläche nicht senkrecht gegen die Achse unsers Auges, oder steht die erleuchtete Oberfläche nicht senkrecht auf der Achse des leuchtenden Körpers, so entsteht aus unserer obigen Formel, da sich die Helligkeit schief beleuchteter Flächen verhält wie der Sinus des Beleuchtungswinkels zum Radius $\frac{L^4 \Delta^3 d^2 \text{Rad}}{l^4 \lambda^2 \Delta^2 \text{Sin. a}}$.

Die Construktion unsers Photometers jedoch erlaubt uns noch auf einem andern Wege zu dem eben gedachten Resultate zu kommen, der demnach als Kontrole für die oben angegebenen Experimente dienen kann.

Der schwarze Schirm b, den unsere Feder trägt, dient uns im obigen Falle, während der Schwingung der Feder jedes andere Licht vom Auge abzuhalten, als das durch die kleine Oeffnung des Schirms fallende. Die Amplitüden der Schwingungen des Schirmes dürfen also in diesem Falle nie so gross werden, dass irgend eine der Seiten des Schirmes über die Oeffnung der Dioptern hinausschwingt. Denken wir uns nun die kleine Oeffnung des Schirmes weg, und bewegen die Feder aus ihrer Ruhe so weit seitwärts, dass der Rand des Schirmes gerade die Oeffnung der Ocularröhre frei lässt, so werden wir natürlich dem Lichte von dieser Seite hin Zutritt zu unserm verstatten. Ueberlassen wir nun die Feder sich selbst, so wird der Schirm, während er sich vor der Oeffnung der Ocularröhre vorüberbewegt, jeden Lichteindruck abhalten, bis sein entgegengesetzter Rand die Oeffnung der Ocularröhre wieder verlassen hat.

Indem wir desshalb während einer Vibration der Feder nach der obigen ersten Methode nur einen Lichteindruck im Auge erhalten, empfangen wir hier zwei, und wir können desshalb auf diese Weise noch eine Zahl von Lichteindrücken im Auge erregen, welche die Feder vermöge ihrer ersten einfachen Schwingungszahl nicht mehr geben könnte. Wir

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



verkürzen natürlich auch hier die Originallänge der Feder so lange, bis das Bild im Auge ruhig erscheint.

Was wir aber auf diese letzte Weise zu messen haben, ist nicht, wie in unserer ersten Methode, die Dauer eines Lichteindruckes, sondern vielmehr *die Dauer des dunkeln Intervalles zwischen zwei Lichteindrücken, oder die Zeit, die der schwarze Schirm nöthig hat, bis er mit seinem ganzen Durchmesser die Achse der Ocularröhre passirt hat.* Die Zeit jedoch, die er dazu nöthig hat, wird von seinem Durchmesser und der Amplitude einer Federschwingung abhängen, da der Durchmesser des Schirms selbst immer einen Theil des Bogenstückes oder der Sehne des Bogenstückes bildet, das der doppelten Amplitude der Schwingung gleich ist. Wenn wir desshalb die Länge des Schwingungsbogens mit y bezeichnen, den Diameter des Schirmes mit d, so erhalten wir, wenn wir wie früher $\frac{l^2}{n}$ die Dauer einer Schwingung nennen, nun $\frac{dl^2}{yn}$ für die mittlere Dauer der Verfinsterung, oder die mittlere Fortdauer des Lichteindruckes, also auch

$$\frac{1}{2}\left(\frac{l^2}{n} - \frac{dl^2}{ny}\right) = \frac{ly^2 - dl^2}{2ny}$$

für die mittlere Zeit, die dem Lichte gegönnt ist, einen Eindruck auf die Retina unsers Auges hervorzubringen, indem bei dieser Weise der Lichteindruck mit jeder Schwingung zweimal erneuert wird, zu beiden Seiten des Schirmes nämlich.

Nun ist aber die Fortdauer eines Lichteindruckes $= \frac{dl^2}{ny}$, also die Intensität gleich dem Quadrate dieses Eindrucks $\left(\frac{dl^2}{ny}\right)^2$.

Nennen wir die Intensität eines andern Lichtstrahles bei einer andern Pendellänge L, so haben wir $\left(\frac{dL^2}{ny}\right)^2$. Bei Vergleichung dieser beiden Quantitäten finden wir auch hier wieder das schon einmal einge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



führte Gesetz: *dass sich die Intensitäten wie die vierten Potenzen der verschiedenen Pendel-Längen verhalten.*

So weit lässt sich die Theorie meines Instrumentes ohne alles Experiment vorherbestimmen. Bei seiner wirklichen Anwendung ergeben sich aber zwei Umstände, die man, vorzüglich was den letzteren von beiden betrifft, nicht so leicht vorhergesehen haben würde. Betrachten wir nämlich durch unser Photometer während der Schwingung der Feder z. B. eine gefärbte Fläche, und haben wir dann das Bild im Auge durch Verkürzung der Feder zur Ruhe gebracht, so wird, wenn sich die Amplitude der Schwingungen vermindert, plötzlich eine Zeit eintreten, in welcher das Licht der beleuchteten Fläche auffallend zunimmt, und zuletzt das wie von einem leichten Nebel umschleierte Bild der Fläche selbst so deutlich wird, dass wir die kleinsten Merkmale auf der Scheibe unterscheiden können. Wenn wir die näheren Umstände während der Erzeugung eines Lichteindruckes im Auge betrachten, wird uns die Ursache dieser Erscheinung sogleich klarer werden.

Der Lichteindruck im Auge wird nur erzeugt, während die kleine Oeffnung des Schirmes die Achse der Ocularröhre schneidet. Da diese Oeffnung selbst eine Grösse ist, so wird eine grössere Zeit vonnöthen seyn, bis die Oeffnung nicht allein die Achse der Ocularröhre, sondern auch die ganze Oeffnung der Ocularröhre passirt hat. Diese Zeit hängt aber lediglich von der Amplitude der Federschwingungen ab; denn wenn wir die Federschwingung in allen Amplituden innerhalb der Grenze ihrer Elastizität für isochronisch annehmen, so muss natürlich die Oeffnung des Schirmes bei einem grossen Schwingungsbogen in kürzerer Zeit die Achse unserer Ocularröhre schneiden als bei einem kleinen Schwingungsbogen. Da also bei einem kleinen Schwingungsbogen die Schirmöffnung länger vor unserm Auge verweilt, und also auch die Lichtwelle Zeit hat, länger auf unser Auge zu wirken, so lässt sich aus der grössern Deutlichkeit der beobachteten Bilder bei längerer Dauer des

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Lichteindruckes schliessen, dass um ein deutliches Bild auf der Netzhaut des Auges zu erzeugen, den Lichtwellen eine gewisse Zeit verstattet werden müsse, auf unser Auge zu wirken, welche auch schon Aimé bei seinen Experimenten zu bestimmen suchte.

Diese erforderliche Dauer eines Lichteindruckes zum deutlichen Sehen bei meinem Instrumente auszumitteln, ist nichts weiter nöthig, als eine Vorrichtung anzubringen, welche die Amplitude einer Schwingung misst. Sie besteht bei meinem Instrumente aus einem horizontalen, an der cylindrisch vertikalen Säule d dicht unter dem hintern Ende der Ocularröhre angebrachten Querstück (Tf. I. fig. 1 mlno und fig. 4 im vergrösserten Maassstabe). In der breiten Nute desselben bewegen sich, schwalbenschwanzartig eingelassen, zwei Schieber m, deren jeder an dem Ende, womit er den andern Schieber berührt, ein Streifchen von Elfenbein n trägt. Das eine dieser vertikal stehenden, sich aber horizontal verschiebenden Elfenbeinstreifchen n wird mit seinem Rande so gestellt, dass es mit dem Rande des Schirmes, den die Feder trägt, in der Ruhe coincidirt; das andere Streifchen $n^1$ wird so weit hinausgerückt, dass es mit dem Rande des bewegten Schirmes in seiner *grössten Elongation* coincidirt; ein am ersten Streifchen angebrachter Nonius misst die Distanz zwischen den Rändern der beiden Streifchen und also auch die halbe Sehne des Schwingungsbogens. Die Formel, die wir oben für die Dauer eines Lichteindruckes, nach der zweiten Weise unser Instrument zu gebrauchen, angegeben haben, dient uns auch hier wieder, wenn wir statt den Durchmesser des Schirmes d' den Durchmesser der Oeffnung im Schirme d setzen, zu dem wir noch den Durchmesser der Oeffnung der Ocularröhre D addiren müssen, da die Oeffnung im Schirme eben so viele Zeit braucht, sich vor der Oeffnung der Ocularröhre vorüber zu bewegen; desshalb wird die ursprüngliche Formel $\frac{d'l^2}{ny}$ verwandelt in $\frac{(d+D)l^2}{ny}$ die mittlere Zeit ausdrücken, welche für eine beliebige Art von Lichtwellen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



nöthig ist, ein deutliches Bild auf der Netzhaut unsers Auges hervorbringen. Ein zweiter, nicht vorauszusehender Umstand ist folgender:

Wir haben so eben gesehen, dass das Lichtbild, wenn sich die Amplitude der Schwingungen verkürzt, plötzlich heller und zuletzt vollkommen deutlich zu werden beginne. Wir werden aber auch zu gleicher Zeit bemerken, dass das früher *ruhige Bild* wieder *zu zittern anfängt.*

Um es auch bis zum letzten Momente ruhig zu machen, muss die Feder bedeutend verkürzt werden, so, dass z. B. die Federlänge 0,25, als das Bild des reflektirten Weiss ruhig geworden war, bis auf 0,1256 verkürzt weerden musste, um es auch bis zum letzten Augenblicke ruhig zu erhalten.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass der Eindruck der Lichtwelle da, wo sie das Auge mit ihrer vollen Stärke affizirt, nicht, wie man erwarten sollte, länger anhaltend, sondern vielmehr von kürzerer Dauer ist; dass ferner unter allen Verhältnissen das von einer *weissen* Scheibe zurückgeworfene Sonnenlicht einen Eindruck von kürzester Dauer; Indigoblau hingegen von längster Dauer im Auge hervorruft, oder, dass bei Lichtstrahlen unter denselben Verhältnissen auf unser Auge einwirkend, die Zeit der sekundären Vibrationen oder der Dauer des Lichteindruckes auf unsere Netzhaut im Verhältniss mit der *Anzahl der Schwingungen* einer farbigen *Lichtwelle stehe.*

Es offenbart sich hier eine merkwürdige Verwandtschaft und wieder ein merkwürdiger Gegensatz der Lichtwellen mit den Tonwellen. Während z. B. die am geschwindesten vibrirenden Tonwellen das Ohr am meisten affiziren, affiziren im Gegentheile die am geschwindesten vibrirenden Lichtwellen das Auge am wenigsten; während die am langsamsten vibrirenden Lichtwellen, z. B. das Roth, auf die Retina am stärksten wirken, gleichsam als wäre auch hier verhältnissmässig Zeit nöthig, um den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Sehenerven am stärksten zu affiziren. Was ferner die Deutlichkeit des Bildes betrifft, so scheint, wie beim Schalle, dazu eine sehr zusammengesetzte Welle nöthig zu sein; denn ich habe schon früher durch Experimente bewiesen, dass z. B. die Basssaite eines Flügels Schwingungs-Amplituden von einer Linie haben könne, ohne dass ein Ton vernehmbar wäre, während dieselbe Saite ohne messbare Schwingungsamplituden den möglichst stärksten Ton hervorbringen könne, was nicht von der Gewalt, die die Saite angreift, abhängt; sondern von der Kraft, mit der die einzelnen Parthien einer solchen Saite in Bewegung gesetzt werden.

Diess Verhalten gibt uns zugleich einen Massstab der Zeit, welche die Aetherschwingungen brauchen, um sich in ihren complicirtesten Formen vollständig auf der Netzhaut des Auges abzudrücken, oder auch ein Mass der Schnelligkeit, mit welcher die Seele im Stande ist, diese Schwingungen in sich aufzunehmen und sich ihrer bewusst zu werden.

Da nämlich die Geschwindigkeit des Lichtes im Vergleiche mit der Zeit, in welcher das Licht durch die Oeffnung des Schirmes auf das Auge wirken kann, unendlich gross ist, so kann die Undeutlichkeit des durch einen zu schnell vorübergehenden Lichteindruck auf der Retina erzeugten Bildes nicht davon herrühren, dass das Licht nicht Zeit genug hat, durch die natürlich nur während eines kurzen Momentes freie Oeffnung des Oculars zu dringen.

Es muss desshalb die Ursache in der Trägheit der Nerven der Netzhaut gesucht werden, welche eine bestimmte messbare Zeit erfordern, um von einem Lichtbilde so affizirt zu werden, dass die Seele ein vollständig klares Bild des Gegenstandes erhalte, von welchem das Licht durch die Ocularröhre ins Auge gelangt.

Wird dem Lichtwellencomplex nicht Zeit gelassen, sich in allen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



seinen Nuancen vollständig auf der Netzhaut abzudrücken, so entsteht nur ein flüchtiges, unklares, verwischtes und desshalb undeutliches Bild. So gibt, um eine gewisse ähnliche Erscheinung aus der Akustik anzuführen, eine tiefe Orgelpfeife aus der 16füssigen oder noch besser 32füssigen Octave, wenn angetreten und staccato angespielt, (d. h. wenn der Clavis so rasch als möglich niedergedrückt und eben so schnell wieder losgelassen wird), nur einen unklaren eben so verwischten Ton, als der Lichteindruck, der zu rasch vorübergeht, ein unklares verschleiertes Bild erzeugt.

Die Ursache, dass das Bild, wenn es heller wird, dann neuerdings zu zittern anfängt, wird uns klar werden, wenn wir die Art und Weise beobachten, in welcher der Lichteindruck entsteht, den der sich rasch an dem Diopter vorüberbewegende Schirm in unserm Auge erzeugt.

Dieser Lichteindruck repräsentirt eigentlich eine Welle oder eine Pendelschwingung, welche von Null beginnt, dann allmälig ihre grösste Stärke erreicht und wieder ebenso abnehmend mit Null verschwindet.

Der Lichteindruck zuerst = Null ist im nächsten Momente unendlich klein; er wächst so fort, bis er seine grösste Stärke erreicht hat, während die Oeffnung des Schirmes und des Diopters einander decken; hierauf nimmt er in eben dem Verhältnisse wieder ab, wie er zugenommen, und wird = Null, wenn der eine Rand des Schlitzes im Schirme den ihm entgegengesetzten im Diopter gedeckt hat.

Die grösste Helligkeit und Deutlichkeit des Bildes wird also nur in einem einzigen Augenblicke statt finden, wenn nämlich die Oeffnung des Schirmes und Diopters einander decken, er nimmt also nur den kleinsten Theil der Dauer ein, welche während des Vorüberganges der Schirmöffnung vor dem Diopter dem Lichtbilde vergönnt ist, sich auf der Retina wieder zu erzeugen. Es wird aber dieser Moment des Wellenbauches

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



möchte ich sagen, wie ein Stoss zweier Schallwellen wirken, welche mit ihren Schwingungszeiten nahe zusammenfallen.

Je mehr wir uns aber diesem Momente höchster Deutlichkeit nähern, indem wir durch Verkürzung der Feder die Dauer des Lichtwellencomplexes verlängern, desto mehr wird diese zunehmende Deutlichkeit des Bildes gegen den vorausgehenden Moment, wo der Lichteindruck von Null angefangen, sich erst erzeugt, so wie gegen den nachfolgenden, wo er ebenso rasch wieder zu Null verlischt, contrastiren, und sich also auch durch eine Art von Zittern des scharf begrenzten, immer deutlicher (als Ganzes) werdenden Bildes bemerkbar machen.

Es wird also die Feder immer mehr und mehr verkürzt werden müssen: erstens um die undeutlichen aber äusserst kurz andauernden Lichtbildereindrücke rasch wiederkehren zu machen, in eben dem Verhältnisse aber auch zugleich die Dauer des Eindruckes dieser Lichtwellenbilder zu vermehren, indem die rasch schwingende kürzere Feder auch kleinere Elongationen macht, so dass wir also durch Verkürzung der Feder zwei Zwecke zugleich erreichen:

1) Vermehrung der Dauer jedes einzelnen Lichteindruckes;
2) schnellere Aufeinanderfolge der deutlichen Lichteindrücke.

In der am Ende dieser Abhandlung sich findenden Tabelle ergiebt sich die Zeit der Dauer eines Lichtbildeindruckes, um ein deutliches Bild auf der Retina des Auges zu erzeugen, welche Zeitdauer ebenso das Mass der Schnelligkeit seyn dürfte, mit welcher sich Bilder, von Gegenständen ausser uns erzeugt, in unserer Seele abzuspiegeln vermögen.

---

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



## Vom
## Gebrauche des Instrumentes.

Das Instrument soll während des Gebrauches so fest als möglich stehen, da sich die Schwingungen der Feder, wenn diese einmal kurz wird, dem ganzen Stative mittheilen. Zu diesem Endzweck ist die vertikale Säule d auf der mit Blei eingegossenen Platte p eines Dreifusses festgeschraubt, dessen 3 bewegliche Füsse eine sehr grosse Basis überspannen, wenn sie auseinandergeschlagsn sind.

Bewegliche, leuchtende sowohl als beleuchtete Gegenstände, z. B. Kerzenflammen, farbige Scheiben, deren Lichtintensität gemessen werden soll, müssen in die Achse der Diopternröhre in die Schweite des Auges gebracht werden, also in eine Entfernung von 6—8 Zoll von dem vordern Theile der kürzern Ocularröhre i.

Um also directes Licht z. B. einer Kerzenflamme und von Scheiben reflektirtes Licht in die Achse der Diopterröhre bringen, und sie in der Achse erhaltend dem Diopter näherrücken, oder von demselben entfernen zu können, ist der eigentliche Object- oder Lichtträger q angebracht, der sich mittelst der retangulären federnden Hülse r an der horizontalen messingnen Zunge $r^1$ horizontal verschieben lässt. In diese Zunge ist eine Scala gravirt, um vermittelst derselben den Abstand des zu betrachtenden Gegenstandes von dem Auge genau messen zu können.

In dem eigentlichen Träger q schiebt sich, der nöthigen Verkürzung oder Verlängerung halber, ein cylindrischer Stab s wie in einer

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Hülse auf und nieder und lässt sich vermittelst des durchbohrten Schraubenknopfes $q_1$ der Säule $q$ in jeder beliebigen Höhe fest stellen.

Dieser cylindrische Stab 5 trägt erstens an seinem obern Ende einen geschwärzten Ring mit Rückenklappe t zur Aufnahme von Blättchen etwa mit den zu prüfenden Farben bedeckt; der Ring selbst aber an seinem höchsten Punkte eine Hülse u, in welcher sich ein prismatischer Stab v vertikal auf die Fläche der zu prüfenden Scheiben hin- und herschiebt, der an seinem einen Ende eine geschwärzte durchbohrte Metallscheibe w, parallel mit der zu prüfenden farbigen Scheibe trägt, um durch sie als Diaphragma das Gesichtsfeld der Diopterröhre zu begrenzen oder auch durch ihre Oeffnung unmittelbares oder reflectirtes Licht unter bestimmten Winkeln auf die zu prüfenden Scheiben fallen zu lassen. An dem cylindrischen Theile des eben beschriebenen Stabes s bewegen sich noch zwei vermittelst Druckschrauben festzustellende Hülsen auf und nieder, a und y, welche horizontale prismatische Arme tragen, mit eben solchen Hülsen versehen, wovon die eine dazu bestimmt ist, einen sehr kurzen Kerzenhalter z zu tragen; die andere a einen schwarzen grossen Schirm um jedes fremde Licht vom Auge selbst abzuhalten. Der oberste dieser beiden Arme x, der den Leuchter trägt, ist auch noch in entgegengesetzter Richtung etwa einen Zoll lang verlängert, dann vertikal niedergebogen, wo seine Schneide xi sich auf dem Rande eines getheilten Kreisbogens $\beta$ bewegt, der auf die untere Schraubenhülse y befestigt ist, wodurch sich der Winkel, welchen die beiden horizontalen Arme x et y mit der Achse der Diopterröhre machen, auch bei einer dreizölligen vertikalen Entfernung von einander noch recht gut messen lässt, wodurch also das Complement des Neigungswinkels gemessen wird, unter welchem das Licht auf die zu prüfende Scheibe fällt.

Ich bediene mich ferner *zweier* Diopterröhren. Die eine kurze i ist 35 mm lang, und trägt an ihren beiden Enden in horizontalen Schlitzen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



γ fig. 5. die zwei Schieber k k, welche durch federnde Ringe an jeder beliebigen Stelle ihrer Länge festgehalten werden. Diese Röhre i ist für Gegenstände bestimmt, deren scheinbare Helligkeit gemessen werden soll, und welche desshalb den Dioptern näher, nämlich in die Sehweite des Auges gebracht werden müssen, Für Gegenstände am Himmel oder überhaupt von grosser Entfernung bediene ich mich einer zweiten Röhre fig. 6, die noch eine Auszugsröhre δ in sich enthält. So kurz als möglich ist sie 4 Zoll 3,6''' pariser Mass lang, lässt sich aber auf 7 Zoll verlängern; diese 3 Zoll, um welche sich die Röhre verlängern lässt, mit ihren Unterabtheilungen in Linien, sind auf die eine Seite der Auszugsröhre δ eingravirt, so dass die Röhrenlänge bloss abgelesen zu werden braucht.

Mittelst des Halsbandes ε wird sie an der vertikalen Säule d anstatt der kürzeren Diopterröhre i angeschraubt.

Als Diopter selbst bediene ich mich vier Schieber aus geschwärztem Messing, wovon einer in natürlicher Grösse Tf. I. fig. 2. gezeichnet ist, deren jeder vier Circularausschnitte enthält von nachstehenden Durchmessern

*I. et II. mit kleinen Oeffnungen:*

$0{,}5^{mm}$ $0{,}9^{mm}$ $1{,}5^{mm}$ $1{,}7^{mm}$

*III. et IV. mit grossen Oeffnungen:*

$2{,}3^{mm}$ $2{,}6^{mm}$ $3^{mm}$ $4^{mm}$

alle in etwa $\frac{1}{2}$ Zoll betragenden Entfernungen von einander.

Um Kerzenflammen, Gasflammen, oder Argandsche Flammen mit einander zu vergleichen, bediene ich mich noch eines anderen Schiebers Tf. I. fig. 3. aus zwei übereinandergleitenden Lamellen, welche in der Mitte mit rectangulären einander völlig gleichen Oeffnungen versehen sind; die vertikalen Ränder λ μ dieser rectangulären Oeffnungen sind von innen zu-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



geschärft und können durch Verschiebung der beiden Theile $\zeta$ et $\eta$ des Diopters mit einander so in Berührung gebracht werden, dass kein Lichtstrahl zwischen ihnen durchdringen kann.

Entfernt man mittelst der Mikrometerschraube e diese Ränder ein wenig von einander, so bildet sich ein Schlitz zwischen ihnen, dessen Weite ein an der unteren Schieberplatte angebrachter Nonius $\pi$ angibt. Es wird dann zuerst ein Schieber mit einem Circularausschnitte in den vordern Theil der Diopterröhre gebracht, der gerade die Flamme ihrer Höhe nach einschliesst. Hierauf wird der Schieber mit dem vertikalen Schlitze in das andere Ende der Diopterröhre gebracht, und die Oeffnung des Schlitzes so lange vergrössert, bis er die Flamme von der Seite her einschliesst, so dass sie vollkommen deutlich und hell erscheint. Man erhält auf diese Weise die Masse für die Grösse der zu messenden Flamme.

Die grössten Oeffnungen in den Schiebern sowohl als in den Schirmen gehören für Gegenstände, welche an dem Träger g angebracht und also in die Schweite des Auges kommen müssen. In den Ring legt man, wie schon gesagt, weisse oder mit Farben bedeckte Scheiben, und um fremdes Licht vom Auge abzuhalten, wird, wenn nöthig, das Diaphragma w herabgedreht und in die nöthige Entfernung vom Auge gebracht. Für Gegenstände am Himmel, sei es bei Tag oder Nacht, taugen die grössern Diopteröffnungen nicht, hiezu gehören die kleinsten; die allerkleinste ist für die Sonne.

Durch Anwendung verschiedener Diopteröffnungen auch an den beiden Enden der Röhre, durch Verlängerung oder Verkürzung der letzteren, durch Näherung oder Entfernung des zu beobachtenden Gegenstandes selbst wird man bald jeden Gegenstand innerhalb des Bereiches unseres Instrumentes zu bringen im Stande seyn.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Zur Beobachtung von Gegenständen am Himmel muss das Instrument parallaktisch aufgestellt werden, was auf die übliche Weise nicht angeht, da die Federschwingungen sich dem ganzen Instrumente und Gestelle mittheilen.

Ich konstruirte mir dazu folgende Vorrichtung: Auf einer gegen 11 Zoll im Durchmesser haltenden und gegen 2 Zoll dicken, steinernen horizontalen Scheibe, die in der Mitte sich um einen Zapfen dreht und an der Peripherie noch auf Friktionsrollen läuft, sind zwei vertikale parallele Wände in einer Entfernung von etwa 5 Zollen von einander errichtet, in ihrem Hauptschnitt ein oben etwas abgestumpftes, etwas mehr als rechtwinkeliges Dreieck darstellend.

Jeder der abgestumpften Scheitel des Dreieckes trägt ein starkes Charniertheil, in welches der Charniertheil eines andern rectangulären Brettes passt, welches Brett, nahe von der Länge des Photometers, vermöge dieser Charnieren und einer Stellschraube mit seiner Fläche in jedem beliebigen Vertikal- oder Höhenkreise auf- und nieder bewegt werden kann. Dieses Brett trägt in seiner Längenachse am obern sowohl als untern Theile zwei Klemmschrauben, welche die vertikale gezähnte Säule des Photometers so nahe als möglich an ihren beiden Enden fassen und festhalten.

Die horizontale Steinplatte gibt also natürlich die horizontale Bewegung, das Längenstück, das an seinem untern Ende mittelst vertikaler Charnieren an den Wänden befestigt ist, gibt die Vertikalbewegung. Das Instrument steht so, während die Feder vibrirt, hinreichend fest, um Beobachtungen mit Sicherheit anzustellen.

Bei allen Messungen in Bezug auf Federlängen setzen wir die ganze Federlänge = 1 und geben die respectiven Längen in Bruchtheilen an.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Wir haben demnach für die Dauer eines Lichteindruckes im Auge $= S = \frac{l^2}{n}$, wo n constant ist und die schon oben angedeutete und für jedes Instrument bereits gefundene Schwingungszahl der ganzen Federlänge in Sekunden anzeigt.

$\frac{L^4}{l^4}$ gibt das Verhältniss der Intensitäten von $\frac{J}{i}$.

$\frac{L^4 \Delta^2 \delta^2}{l^4 \lambda^2 \Delta^2}$ ist die Formel für die scheinbare Helligkeit von Gegenständen.

$\Delta$ ist der, der grösseren Federlänge entsprechende Durchmesser des Objekts, der Schirme, oder auch der Schieberöffnung.

$\delta$ ist der der kleinern Federlänge entsprechende Durchmesser des Objekts, oder der Schieberöffnung.

$\Delta$ ist die der Grösse L entsprechende Distanz des Objekts. $\lambda$ die dem kleinen l entsprechende Distanz des Objekts, beide von der dem Schirme am nächsten liegenden Diopter an gerechnet.

Um $\Delta$ mit $\delta$ vergleichen zu können, welche beide zur Vergleichung des Durchmessers des Objekts dienen, muss, wenn zwei verschiedene Röhrenlängen gebraucht werden, die grösste auf die kleinste reduzirt werden: wobei natürlich, wenn a die kleine Röhrenlänge, B die grössere, d den Diameter des Diopters bedeutet, die eigentlich in Rechnung zu ziehende Oeffnung $d' = \frac{ad}{B}$ seyn wird.

Auf gleiche Weise muss die Area des rectangulären Schlitzes auf eine circuläre reducirt werden, um ihren Durchmesser finden zu können.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Fällt endlich noch bei reflectirtem Lichte das Licht schief auf, so wird die ursprüngliche Formel endlich in $\frac{L^4 \Delta^2 \delta^2 \text{Rad}}{l^4 \lambda^2 \Delta^2 \text{Sin.a}}$ verwandelt, wobei Sin. a der Neigungswinkel des Lichtstrahles zur Fläche ist.

## Bestimmung der Dauer eines Lichteindruckes.

Bei allen diesen Berechnungen, wo es gilt, die Dauer eines Lichteindruckes oder einer Verfinsterung zu messen, haben wir der Kürze halber die mittlere Geschwindigkeit angenommen, mit welcher der Schirm den mittleren Theil des Bogenstückes durchschneidet. In der Wirklichkeit dagegen ist die Geschwindigkeit eines Pendels in seiner grössten Elongation vom Ruhepunkte = 0 und in der Mitte des Schwingungsbogens am grössten. Da sich jedoch bei jeder Pendelbewegung die Zeiten, in welchen gewisse Bogenstücke durchlaufen werden, wie die Wurzeln aus den Räumen verhalten, so wird sich, wenn wir mit T die Zeit einer halben einfachen Schwingung bezeichnen; mit t hingegen die Zeit, die das Pendel braucht, das Bogenstück y weniger dem Halbmesser der Oeffnung oder des Schirmes zu durchlaufen, natürlich die Zeit = d, die der Halbmesser der Oeffnung oder des Schirmes nöthig hat, die Achse der Diopterröhre zu schneiden, aus der Differenz T — t ergeben. Wenn wir ferner den halben Schwingungsbogen mit y bezeichnen, — mit D den Durchmesser der grösseren Schirmöffnung oder des Schirmes selbst; mit d die Oeffnung des Diopters, so ergeben sich die Räume $= y - \frac{D}{2}$ und desshalb die Zeiten T gleich der halben Schwingungszeit $\frac{l^2}{2n}$, wie wir oben gesehen, woraus sich $t = \frac{l^2 \sqrt{2y - D}}{4n \sqrt{y}}$ ergibt, und desshalb die eigentliche Geschwindigkeit = $\mathfrak{D}$ =

$$T - t = \frac{l^2}{2n} - \frac{l^2 \sqrt{2y - (D + d)}}{4n \sqrt{y}}$$

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



gleich der halben Dauer eines Lichteindruckes, wenn die Oeffnung im Schirme die Achse schneidet.

Ist nach der zweiten Art der Schirm selbst statt der Oeffnung des Schirms angenommen, so erhält die Formel eine etwas andere Gestalt; denn hier kömmt es darauf an, das Intervall zu messen zwischen der Achse der Diopterröhre und dem innersten Rande des Schirms bei seiner grössten Elongation; also einen Zeitraum, der vor der Verfinsterung selbst eintritt.

Hier muss die Differenz zwischen dem ganzen Durchmesser des Schirms und dem ganzen Bogenstücke y genommen werden, nämlich y—D, weil diese ganze Differenz innerhalb der ersten Hälfte des Bogenstückes fällt, welches das schwingende Pendel beschreibt, und zwar in dem Anfang der Bewegung. Eben so muss statt der Summe D+d natürlich die Differenz D—d in der Formel gesetzt werden.

Wir erhalten desshalb für t oder die Zeit, die den Lichtwellen gegönnt ist, ein deutliches Bild auf der Retina hervorzubringen

$$t = \frac{l^2 \sqrt{y-(D-d)}}{2n \sqrt{y}}$$

## Ueber die Sicherheit und Feinheit der Resultate, welche durch dieses Instrument erhalten werden können.

Man könnte gegen die Verlässigkeit dieses Instrumentes einwenden, dass wenigstens die feinern Resultate von der Beschaffenheit des Sehorganes selbst abhängen könnten und desshalb durch die verschiedenen Augen, welche sich des Instrumentes bedienen, auch verschiedene Resultate bei ein und derselben Messung erhalten würden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



Allein die Erfahrung hat gelehrt, dass dieses nicht der Fall sey, und theoretisch lässt sich auch voraus sehen, dass obige Einwürfe nicht begründet seyn können.

Das Auge hat nämlich bei Messung der verschiedenen Lichtintensitäten nicht ein indifferentes Merkmal zu beobachten, nicht die Qualitäten zweier Gegenstände in voller Ruhe neben einander zu vergleichen, wie das bei Vergleichung von zwei Scheiben von scheinbar gleicher Helligkeit geschehen muss. Im Gegentheil hat das Auge den Uebergang von Ruhe und Bewegung und zwar zur überaus raschen zitternden Bewegung oder umgekehrt wahrzunehmen, ein Uebergang, der keinem nur einigermassen gesunden Auge entgeht, so wie z. B. das Zucken auch des schwächsten Blitzes von gesunden und kranken Augen in derselben Weise wahrgenommen wird.

Um nur ein Beispiel von der Feinheit der durch das Instrument zu bemerkenden und zu messenden Unterschiede zu geben, will ich hier zum Schlusse dieser Abhandlung noch ein Experiment mit diesem Instrumente anführen.

Es wurde die Flamme einer Wachskerze in die gehörige Schweite des kurzen Diopters gebracht und die Feder so lange verkürzt, bis die Flamme vollkommen ruhig wurde.

Die Flamme war unter jedem Versuche
bei 0,1 ruhig;
bei 0,105 fieng sie merkbar zu vibriren an.

Daraus ergibt sich 0,00281 Sekunde als die Dauer einer Vibration; für 0,105 erhalten wir aber nach obiger Formel 0,00256 Sekunde.

Wir messen daher noch 0,0052 einer Sekunde mit voller Sicherheit.

---

# Einige zusammengestellte Experimente

über die verschiedenen Lichtintensitäten der leuchtenden und strahlenden Gegenstände.

| | Federlängen; die ganze = 1.0000 log. n = 0,63347 | | | | | $2\left(\frac{l^2}{2n} - \frac{l^2\sqrt{y-(D+d)}}{4n\sqrt{y}}\right)$ | Scheinbare Helligkeit der verschiedenen Objekte |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Doppelter Eindruck l | Einfacher Eindruck K | Vollkommene Ruhe. L | Fortdauer des Eindruckes in Sekunden $\frac{l^2}{n}$ | Intensität $\frac{L^4 \text{ Rad}}{l^4 \text{ Sin.a.}}$ mit der Sonne verglichen | Nöthige Dauer des ersten Lichteindruckes, um eine deutliche Empfindung im Auge zu machen. | $\frac{L^4 \cdot J^2 \delta^2 \text{ Rad}}{l^4 \lambda^2 J^2 \text{ Sin.a.}}$ |
| Sonne. Aus Beobachtungen im u. nahe d. Meridian $J = 0,00967''$. $J$ = mittlere Entfernung der ☉ von der ♁ = 20,666,800 geogr. Meilen. | 0,88 | 0,75 | 0,3525 | 0,028896 | | | |
| Mond Opposition $\delta = 0,0099083''$ $\lambda$ = mittlere Entfernung d. Mondes von der Erde — 51812,8 geogr. Ml. | | 0,3075 | 0,16 | 0,0059534 | 1:23,559 | | 1:3,933500 |
| Stearinkerze $\delta = 0,0713$. $\lambda = 9''$ | | 0,2400 | 0,1125 | 0,0029432 | 1:96,39 | | 1: 3725''' 000000'' 000000'' 000000'' 000000 (der gefundene Log. ist: 27,57113618) |
| Sonnenlicht, direkt von Weiss reflektirt, Reflexionswinkel 72° | | 0,3500 | 0,1758 | 0,0071906 | 1:16,1490 mit dem Winkel 1:16,9800 | | |
| Himmelblau | | 0,2800 | 0,1633 | 0,0062017 | 1:21,7110 | | |
| Weiss reflektirt Reflexionswk. 60° $\delta = 0,095$. $\lambda = 4,5''$ | | | 0,1625 | 0,0061408 | 1:22,1430 | | 1:1,6607 als Verhältniss zur Stearinkerze. |
| Grün | | | 0,1750 | 0,0057322 | 1:25,4120 | | 1:1,4171 |
| Gelb | | | 0,1825 | 0,0077455 | 1:13,9180 | | 1:2,6429 |
| Roth | | | 0,2100 | 0,010250 | 1:7,9388 | | 1:4,6321 |
| Blau. Wurde deutl. in $y = 0,25''$ | | | 0,2500 | 0,0134550 | 1:4,6149 | 0,005962 | 1:7,9606 |



© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

# Photometer.

Vertical-Projection.

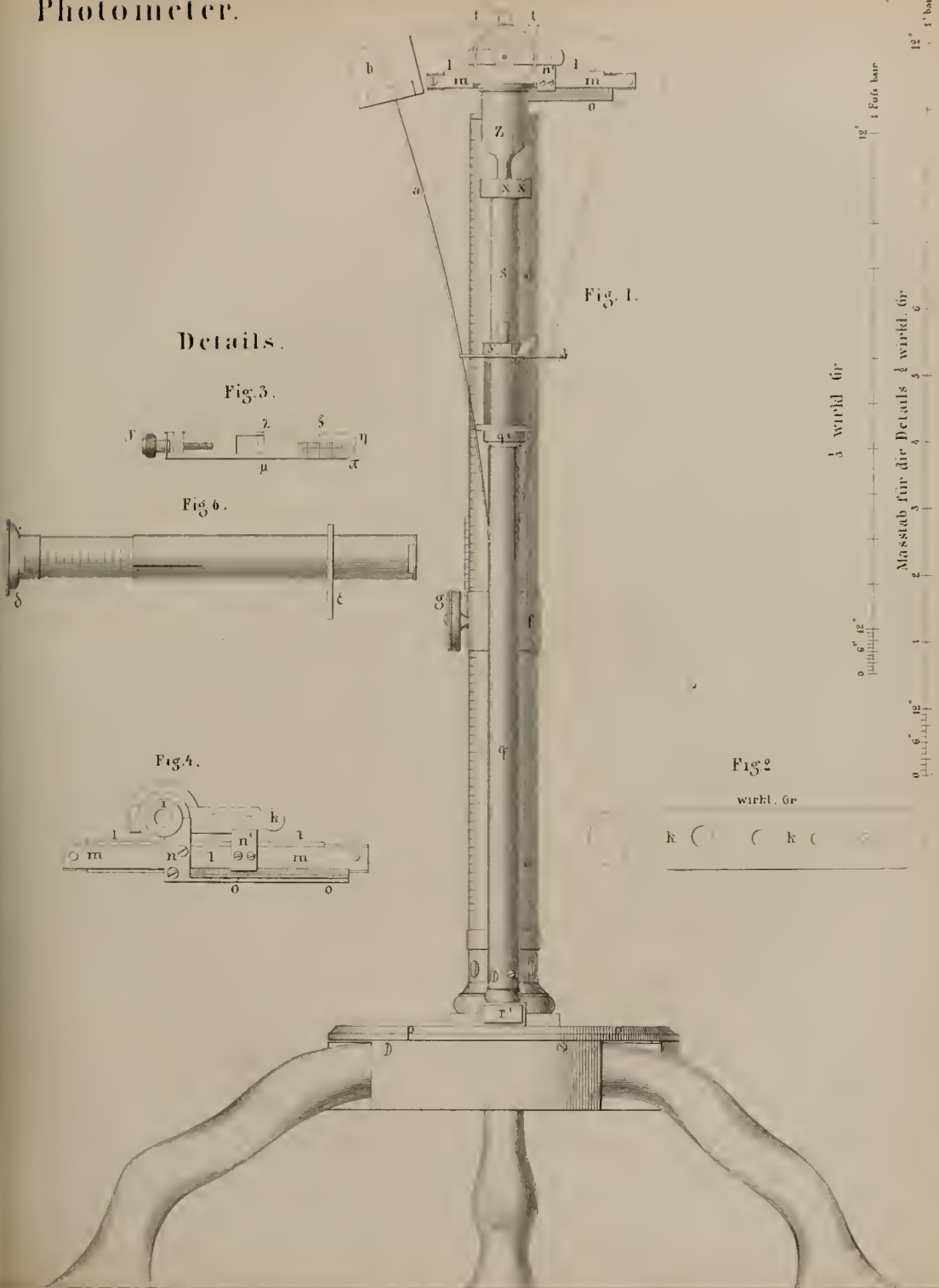


Fig. 1.

Details.

Fig. 3.

Fig. 6.

Fig. 4.

Fig. 2

wirkl. Gr

Masstab für die Details ½ wirkl. Gr

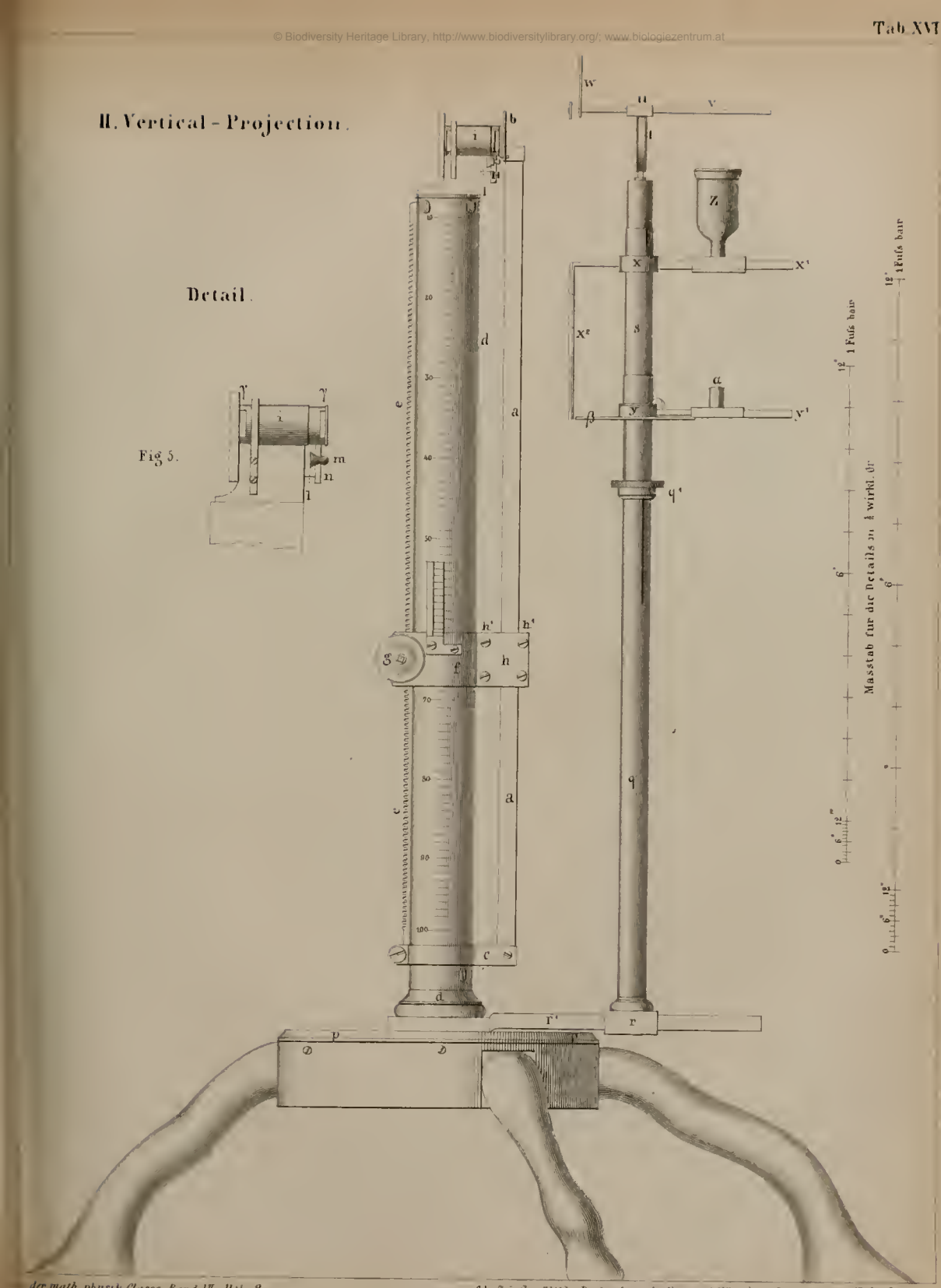
1 Fuß bair

1' bair

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

BRITISH MUSEUM NATURAL HISTORY

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at



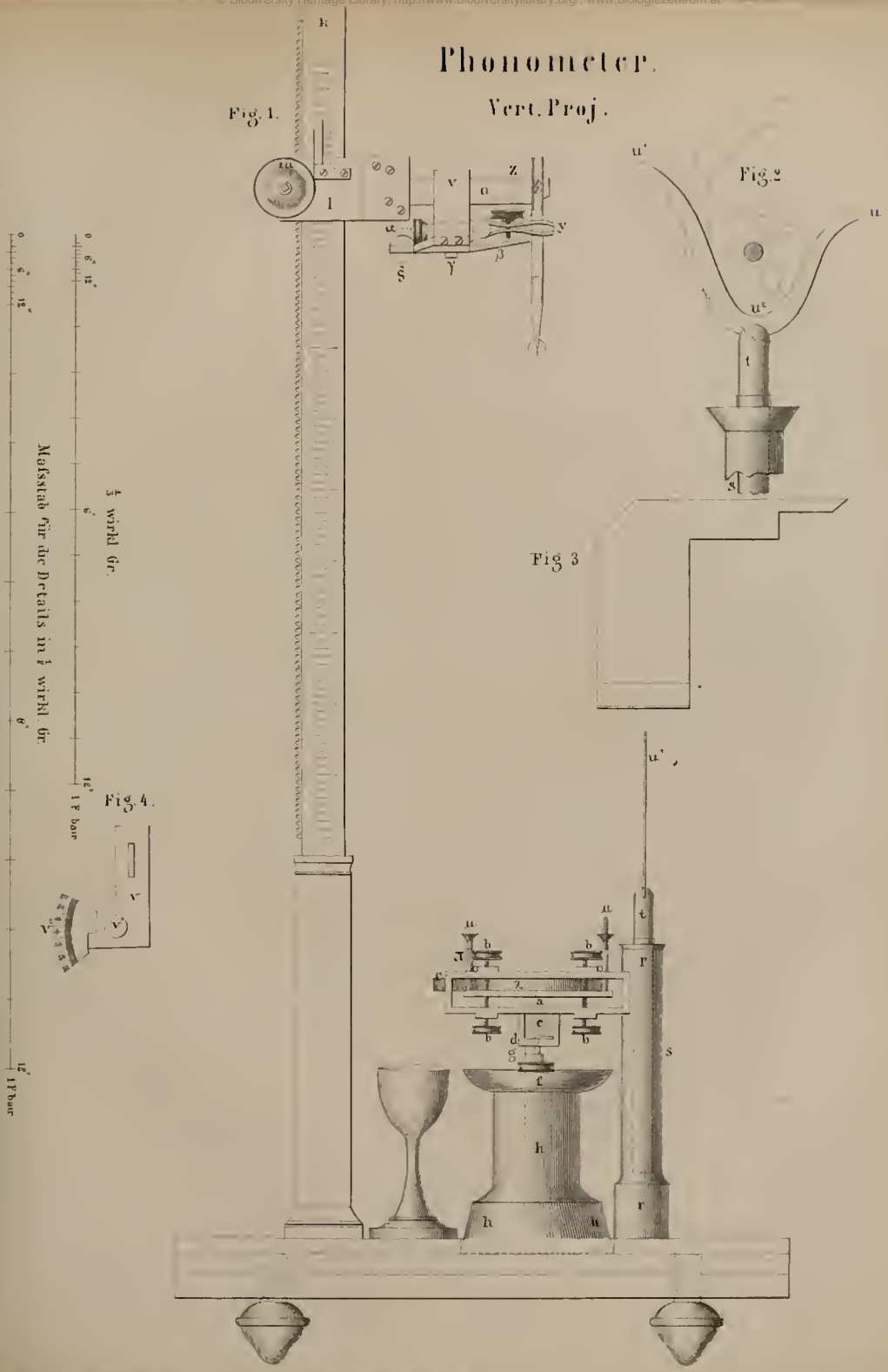
© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

BRITISH
NATURAL HISTORY

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

# Phonometer.

## Vert. Proj.



© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

BRITISH MUSEUM NATURAL HISTORY

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

## Details.

Fig. 1

Fig. 2.

Fig. 3

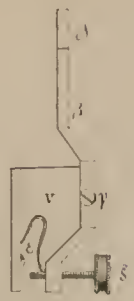


Fig. 4

Fig. 5

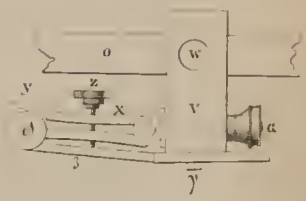
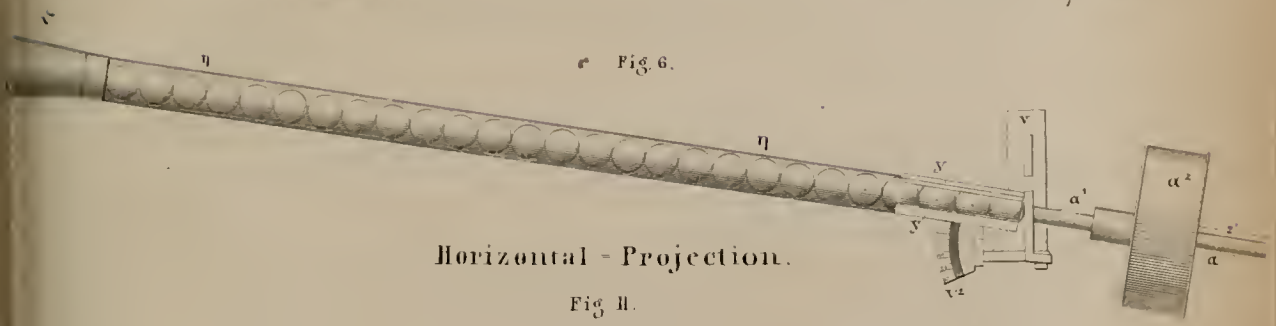
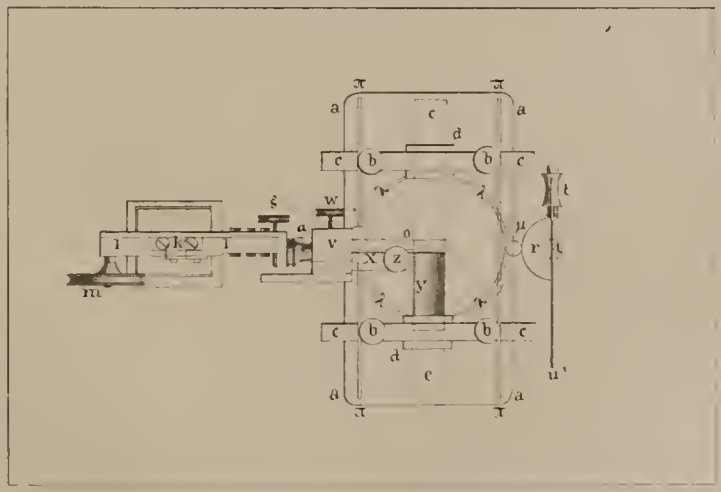


Fig. 6.



## Horizontal - Projection.

Fig. II.



$\frac{1}{3}$ wirkl. Gr

Maſsstab für die Details in $\frac{1}{2}$ wirkl. Gr

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften - Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1855

Band/Volume: 7

Autor(en)/Author(s): Schafhäutl Karl Emil von

Artikel/Article: Abbildung und Beschreibung des Universal- Vibrations-Photometers 465-497