

SCIENCE:

PUBLISHED BY N. D. C. HODGES, 874 BROADWAY, NEW YORK.

SUBSCRIPTIONS.—United States and Canada.....\$3.50 a year.
Great Britain and Europe..... 4.50 a year.

To any contributor, on request in advance, one hundred copies of the issue containing his article will be sent without charge. More copies will be supplied at about cost, also if ordered in advance. Reprints are not supplied, as for obvious reasons we desire to circulate as many copies of *Science* as possible. Authors are, however, at perfect liberty to have their articles reprinted elsewhere. For illustrations, drawings in black and white suitable for photoengraving should be supplied by the contributor. Rejected manuscripts will be returned to the authors only when the requisite amount of postage accompanies the manuscript. Whatever is intended for insertion must be authenticated by the name and address of the writer; not necessarily for publication, but as a guaranty of good faith. We do not hold ourselves responsible for any view or opinions expressed in the communications of our correspondents.

Attention is called to the "Wants" column. It is invaluable to those who use it in soliciting information or seeking new positions. The name and address of applicant should be given in full, so that answers will go direct to them. The "Exchange" column is likewise open.

VON DEN LICHTSTRAHLEN KLEINSTER WELLEN-
LÄNGE.

VON VICTOR SCHUMANN IN LEIPZIG.

LANGE Zeit galten die Wellenlängen zweier Linien des Aluminiumspectrums als die kleinsten. Nach den Messungen A. Cornus betragen die Längen dieser Linien in Angströmeinheiten (1 Angströmeinheit = 0.000001 Millimeter) ausgedrückt, 1860 und 1852 AE. Für beide Linien ist, wie schon für die ganze Spectralregion des Ultravioletten, das menschliche Auge vollständig unempfindlich. Nur sehr wenigen ist es vergönnt, das Ultraviolet durchs Ocular eines hinreichend lichtdurchlässigen Spectralapparats ebenso deutlich wahrnehmen zu können, wie die minderabgelenkte Region des sichtbaren Spectrums, das, wie allgemein bekannt, von jedem gesunden Auge vollkräftig empfunden wird. Das ultraviolette Licht lässt sich nur auf einen Umwege sichtbar machen; entweder projectirt man es auf einen fluorescirenden Schirm oder fixirt es mit Hilfe der Photographie auf einer lichtempfindlichen Platte.

Das Fluorescenzspectrum kann man direct oder durch eine Lupe betrachten; in beiden Fällen lässt es aber an Klarheit und Schärfe viel zu wünschen übrig. In früheren Jahren, wo die photographische Platte dem nassen Verfahren angehörte und die moderne Trockenplatte noch nicht bekannt war, hat man sich vielfach des Fluorescenzspectrums bedient, wenn es sich um Versuche mit ultravioletten Strahlen handelte. Gegenwärtig, wo die Bromsilbergelatineplatte der photographischen Beobachtung so ausserordentliche Vortheile gewährt, denkt wohl niemand mehr an die Verwendung des unvollkommenen Fluorescenzspectrums.

Die photographische Beobachtung hat die oculare aus dem Ultravioletten vollständig verdrängt. Wer beide Methoden geübt hat, wird mir beipflichten, wenn ich sage: das Fluorescenzspectrum ist viel zu roh, als dass es der exacten Spectroskopie der Gegenwart noch gewachsen wäre.

Die moderne Trockenplatte ist gegen die ultravioletten Strahlen ungemein empfindlich und diese hohe Empfindlichkeit kommt der Spectralwissenschaft ausserordentlich zu statten. Zeigt doch die moderne Trockenplatte allen lichtquellen elektrischen Ursprungs gegenüber ihre höchste Empfindlichkeit nicht etwa im sichtbaren Spectrum, sondern weitab davon im Ultraviolet.

Photographirt man das Spectrum irgend eines Metallfunkens, so entwickelt sich jederzeit zuerst das ultraviolett, und erst, wenn man länger belichtet, tritt das sichtbare Spectrum hervor. Es ist aber keineswegs das ganze ultraviolette Licht, was dem sichtbaren voraneilt. Nur ein Theil davon zeichnet sich durch photographische Ueberlegenheit aus. Alles Licht, das jenseits der Kadmiumlinie No. 24 wirkt, braucht zu seiner Aufnahme beträchtlich längere Belichtungszeit. Die Empfindlichkeit der

Platte nimmt von dieser Linie — ihre Wellenlänge beträgt 2266 AE — an mit der Brechbarkeit der Strahlen sichtbar ab, und sinkt, bei Anwendung grosser Aufnahmeapparate, in der Gegend der Wellenlänge 2000 sogar auf Null hinunter. 2000 AE dürfte demnach annähernd die kleinste Wellenlänge sein, die sich mit den gegenwärtig am meisten im Gebrauch befindlichen grossen Gitterapparaten noch beobachten lässt.

Versucht man diese Wirkungsgrenze mit einem kleinen Apparat zu photographiren, dann erweitert sich das Beobachtungsgebiet um eine ansehnliche Strecke, und die gewöhnliche Bromsilbergelatine erweist sich, bei hinreichend kurzer Focalweite und gehöriger Lichtdurchlässigkeit des optischen Körpers, sogar bis zur Wellenlänge 1820 geeignet. Dieses relative Grenzgebiet kleinster Wellenlänge gehört nach umfassenden Versuchen, die ich im Jahre 1890 anstellte, einem Apparat an, dessen Focalweite 180 millimeters (Fraunhoferlinie D.) betragt.

Der Umstand, dass das photographisch wirksame Spectrum um so weiter ins Ultraviolet hinausläuft, je kürzer die Brennweite ist, besagt deutlich, dass der Ort der photographischen Wirkungsgrenze eine Function der Dicke der Luftschicht ist, die die Strahlen auf ihrem Wege zur photographischen Platte zu durchsetzen haben. Versucht man nun, von dieser Thatsache ausgehend, die Luftschicht noch weiter zu vermindern, dann bemerkt man zwar, dass sich die photographische Wirkungsgrenze noch um einige Linien kleinerer Wellenlänge entfernt, allein der Längenzuwachs des Wirkungsbandes ist so unbedeutend, dass der Erfolg die Mühen und Kosten der Herstellung eines derartigen kleinen Spectrographen nicht lohnt. Es gewinnt sonach den Anschein, als habe man hiermit das wahre Grenzgebiet der wahrnehmbaren Lichtstrahlen kleinster Wellenlänge erreicht. Bestärkt wird man in solcher Annahme noch durch die Thatsache, dass das Fluorescenzspectrum ungleich früher, bei Wellenlänge 1852 verlischt, und demzufolge zur Beobachtung aller stärkerabgelenkten Strahlen ganz ungeeignet ist. Stände uns nicht die photographische Platte, sondern nur die fluorescirende Platte zu Gebote, so würde die kleinste Lichtwelle, die wir noch wahrnehmen könnten, nur das Längenmass von 1852 AE haben. Man sieht hieraus, dass beide Grenzwerte nur eine ganz relative Giltigkeit haben. Aehnlich der fluorescirenden Substanz, die schon von Wellenlänge 1852 an nicht mehr leuchtet, könnte ja möglicherweise auch der photographischen Platte die Fähigkeit fehlen, von Allen Strahlen, deren Wellenlänge kleiner als 1820 ist, einen entwicklungsfähigen Eindruck anzunehmen. Diese Ueberlegung leitete mich, als ich vor nunmehr zwei Jahren eingehende Versuche mit Strahlen des brechbarsten Ultravioletten anstellte, und nicht ohne Erfolg. Es ergab sich hierbei, dass es nur der Mangel an Empfindlichkeit der damals angewandten lichtempfindlichen Platte, keineswegs ungenügende Energie der Lichtstrahlen war, die meine Versuche jenseits 1820 zu keinem befriedigenden Resultate kommen liess. Ich gewahrte ferner, dass die Strahlen schon in der das lichtempfindliche Silberkorn umschliessenden Gelatinehülle erstickten, ehe sie zur Einleitung des Zerfalls dieses Kornes gelangten. Die Gelatine des Plattenüberzugs bildete sonach die Ursache meiner photographischen Misserfolge im äussersten Ultraviolet. Die Kenntniss dieser wichtigen Thatsache führte mich zur Präparation einer neuen Platte, die sich in der Folge zur Photographie aller Strahlen jenseits Wellenlänge 2260 besser eignete, als die vorher benutzte Gelatineplatte.

Die neue Platte verhält sich den Lichtstrahlen gegenüber durchweg ganz anders wie die Gelatineplatte. Wenig empfindlich gegen alle Strahlen des sichtbaren Spectrums und der wenigerabgelenkten Strahlen des Ultravioletten, wächst ihre Erregbarkeit von 2260 an bis in die Gegend von 1860. Bei 1860 scheint sie, wenigstens allen elektrischen Lichtquellen gegenüber — andere Lichtquellen erzeugen niemals so starkabgelenkte Strahlen — die höchste Empfänglichkeit für Lichteindrücke zu besitzen. Weiter nach der brechbarern Seite hin sinkt ihre Empfindlichkeit etwas, doch bleibt die Wellenlänge 1820, bei der die Gelatineplatte aufhört empfindlich zu sein, ohne allen hemmenden Eindruck auf sie. Kräftig und klar gezeichnet, gibt sie das spectrale Wirkungsband auch jenseits 1820. Arbeitet der Spectralapparat mit einem Prisma, dann scheint es, als wollten die Lichtmassen, die diesem,

für das menschliche Auge in ewige Nacht gefüllten Strahlenbereiche entquellen, gar kein Ende nehmen. Mit jeder folgenden Region, die man zur Aufnahme einstellt, meint man das Endgebiet der kleinsten Lichtwellen zu erreichen. Aber es ist fast, als flöhe die kleinste Welle, die überhaupt noch photographisch zu fesseln ist, um so behender ins fernste Ultraviolett hinaus, je näher ihr die Fessel der lichtempfindlichen Platte rückt.

Schon jetzt weist meine neue Platte jenseits 1853 ein Spectrumband auf, das das gesammte Wirkungsgebiet der Bromsilbergelatine um mehr als das dreifache an Länge übertrifft, und gleichwohl lässt auch die letzte meiner Aufnahmen noch der Hoffnung Raum, dass jenseits des Randes ihrer Platte noch photographisch wirksames Licht existirt. Vorläufig gehört aber diese letzte Aufnahme, ohngeachtet solch' günstiger Aussicht, doch demjenigen Gebiete an, das ich gegenwärtig als die Grenze der kleinsten Lichtwellen bezeichnen muss. Die Photographie des Nachbargebietes hiervon stöszt zur Zeit,— aus Gründen, deren Erörterung hier zu weit führen würde,— auf Hindernisse, die sich, sofern es überhaupt möglich ist, nicht ohne grosse Anstrengung werden beseitigen lassen.

Fragt man nun nach dem Masse der kleinsten Lichtwellen meiner Ultraviolettaufnahmen, dann muss ich leider bekennen, dass mir im Augenblick eine bestimmte Antwort hierauf nicht möglich ist. Wellenlängen lassen sich im luftleeren Raume, an den meine Aufnahmen gebunden sind, nicht so leicht ermitteln wie in der Luft, und die geplanten Messungen der Wellenlängen des äussersten Ultraviolett haben darum auch besonderer Vorbereitungen bedurft. War es doch überhaupt zweifelhaft, ob sich die übliche Methode der Messung der Wellenlängen auf den in Rede stehenden Lichtbereich werde anwenden lassen. Meine Vorversuche hierzu gehen zur Zeit ihrem Abschluss entgegen, und die mir vorliegenden Resultate berechtigen zu den besten Hoffnungen. Unter solchen Umständen kann ich das Mass der kleinsten Lichtwelle, die meine Aufnahmen aufweisen, vorläufig nur schätzungsweise und mit Vorbehalt nennen. Es dürfte dieses Mass 1000 AE nicht überschreiten, ja eher kann es um ein gutes Theil kürzer sein.

Der Wellenlänge 1000 entspricht eine ausserordentlich hohe Schwingungszahl des Lichtäthers. Während die brechbarsten Sonnenstrahlen wenig mehr als 1000 Billionen Schwingungen in der Secunde ausführen, schwingt ein Strahl von der Wellenlänge 1000 in derselben Zeit dreibillionenmal. Mit Schwingungszahlen so enormer Höhe hat der Spectroskopiker bisher noch nie zu rechnen gehabt, und gleichwohl liegt es nicht ausser dem Bereich der Möglichkeit, dass wir über kurz oder lang die Wirkungen des Lichtäthers bis in die nächste Nähe der Wellenlänge Null verfolgen werden, wo der ungeheuren Anzahl seiner Schwingungen kaum noch der Massstab des Endlichen gewachsen ist.

THE SOUNDS OF R.¹

BY ALEX. MELVILLE BELL.

THERE seems to be special need for a better understanding of the sounds of R. No element of speech is so variously pronounced — in dialects and by individuals. The fundamental organic action from which all the varieties are derived is a frictional emission of breath or of voice between two surfaces in the breath channel. Thus we may make an R in the throat,—producing the effect which, when prolonged, is called a groan; or in the guttural passage, between the back of the tongue and the soft palate — a mode which is dialectically common in many countries. A less definite variety is formed between the arched top of the tongue and the roof of the mouth. This is common in the United States. Another — and the normal English form of R — is produced between the point of the tongue and the upper gum. This is sometimes modified by inversion of the tongue within the palatal arch, or by addition of guttural or of labial contraction. The point-tongue R is also varied by advancement of the tongue to or between the teeth. In a common English affectation the seat of R is transferred from the tongue to the lips, so that R has the sound of W. Of these varieties one may be characteristic of a

dialect, another a mere individuality, but they are all effects of only one organic action performed at different parts of the mouth.

Another series of R's results from a trilling or rattling organic vibration instead of a mere friction of the breath or voice. Thus a trill of the epiglottis is heard as one form of R; a trill of the uvula is another and very common one; and a trill of the point of the tongue is the regular form of R in North Britain and Ireland. The Spanish R has a more prolonged rattle of the same kind. The trill has often the effect of a syllable; as in Scotch and Irish, where it converts the grammatical monosyllables *world*, *harm*, *mourn*, etc., into the phonetic dissyllables *wor-rld*, *har-rm*, etc.

These trills involve a strong pressure of breath and a harshness of phonetic effect, in contrast to which is a form of R of simple vowel quality, without friction or vibration; as in (ə)ise and (ə)ound, for *rise* and *round*.

A similar vocalic effect is also heard for R wherever it is not followed by a vowel; as in *here*, *care*, *fire*, *store*, *tour*, *are*, *war*, *term*, *first*, etc. The syllable-like quality of this sound is distinctly felt after the close vowel ē, and less distinctly after open vowels, because their mouth-cavities differ so little from that of R.

In Early English R was always trilled, as it continues to be in Scotland, where most of the characteristics of Early English are still prevalent. But in modern English the trills have been softened away wherever R follows a vowel, until little is left of the R but its vowel quality. We are accustomed to the entire omission of R in negro speech, where *do* and *sto* are all that we hear for *door* and *store*; but in educated utterance there is some phonetic effect left in R even where it is least manifest. Such delicate shades of sound are the distinguishing marks of refinement in pronunciation, and they should be carefully preserved by teachers and by writers on phonetics.

In a book recently published in England the learner is taught that R is silent in such words as *farm*, *serve*, *lord*, *prayer*, *weird*, etc. Had the statement been that the sound of consonant-R is not heard in these words it would have been correct, but the R is certainly not "silent;" it has a phonetic effect of its own, soft and vowel-like, but a quality wanting which the words would not have their characteristic pronunciation.

That there may be no mistake as to the teaching in the work referred to, the reader is specifically told that the words *arms* and *lord* are exactly the same to the ear as the words *alms* and *laud*. Now what is the sound of R which baffles the discrimination of this writer? Let us magnify it, as in a microscope, by prolonging the elementary sounds. First let us put "alms" and "laud" under the microscope:—

a - - - lms; lau - - - d.

Here there is no R; the vowel remains unchanged until stopped sharply by the succeeding consonant. Now put "arms" and "lord" under the microscope:—

a - - - (ə)rms; lo - - - (ə)rd.

Here between the vowel and the m or d there is interposed a gliding connective sound, so that the vowel is not stopped sharply by the consonant, but its quality is gradually changed by a lift of the tongue, verging towards but not quite reaching the position for R. This is all the sound that R has, in modern English, before any consonant or when final in a word. But it is something more than nothing; and something that is essential to the correct utterance of any word containing R before a consonant.

Among the sounds of R may be reckoned the influence of R upon other sounds. The mouth-cavity for R being very large, any closer vowel preceding R is, as it were, stretched at the point of junction, so as to assimilate with R. Thus a pure ē is with difficulty pronounced before R; a pure ā is never, in Anglican speech, heard before R, but a is "stretched" to eh, as in *air*, *chair*. So, too, o and oo before R have a more open than their usual formation, as in old — ore; pool — poor.

These widened sounds of o and oo are distinctly different from the sound of aw; yet in the book before referred to the words *shore* and *drawer* are said to have the same vowel; and the words

¹ Paper read before the Phonetic Section of the Modern Language Association, December, 1891.