VII. *Allgemeine Methode zur Messung der Geschwindigkeit des Lichts in Luft und durchsichtigen Mitteln; relative Geschwindigkeiten des Lichts in Luft und Wasser; Project eines Versuchs über die Fortpflanzungs-Geschwindigkeiten der strahlenden Wärme; von Hrn. L. Foucault.*

(*Compt. rend. T. XXX. p. 551.* Mit einigen Abkürzungen.)

Die neue experimentelle Methode, welche ich zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichts, bei Fortpflanzung durch eine kleine Strecke, vorschlage, gründet sich auf Anwendung des von Hrn. Wheatstone erfundenen rotirenden Spiegels, auf dessen Brauchbarkeit zur Lösung von dergleichen Aufgaben bereits Hr. Arago hingewiesen hat. Der rotirende Spiegel, verbunden mit einem angemessenen optischen Apparat, gestattet in der That, die Dauer eines doppelten Durchgangs des Lichts durch eine 3 Meter lange Wassersäule wenigstens bis auf ein Dreißigstel auszumitteln, und wenn man blofs beabsichtigt, in Luft zu operiren, so erlaubt dieser Apparat, bei geringer Abänderung, einen Grad von Genauigkeit zu erreichen, den zu bestimmen mir noch nicht möglich war. Eine dritte Abänderung, welche bezweckt, die Lichtverluste sehr zu verringern, wird, so weit ich sehe, zum Nachweis dienen können, dafs die bisher vom Licht untrennbare Wärmestrahlung sich mit derselben Geschwindigkeit wie dieses fortpflanzt.

Um diese Versuche verständlich zu machen, habe ich die Einrichtung des optischen Systems zu beschreiben, so wie auch die der neuen Maschine mittelst deren der Spiegel in eine rasche Rotation versetzt und letztere gemessen wird. Man operirt mit Sonnenlicht, oder auch mit elektrischem Licht.

Ein Bündel directen Lichts geht zunächst durch eine quadratische Oeffnung, dicht dahinter durch ein Gitter von

elf senkrechten Platindrähten (*au millimètre*) und darauf zu einer vortrefflichen achromatischen Linse von großer Brennweite, die in einem Abstände, geringer als das Doppelte dieser Weite, vor dem Gitter aufgestellt ist. Das Bild des Gitters sucht sich jenseits unter mehr oder weniger vergrößerten Dimensionen zu gestalten, allein, nachdem das Bündel durch die Luft gegangen ist, fällt es, bevor es den Brennpunkt erreicht hat, auf den rotirenden Spiegel und, indem es von diesem mit seiner doppelten Winkel-Geschwindigkeit herumgeführt wird, giebt es im Raum ein Bild vom Gitter, welches mit großer Schnelligkeit fortrückt. In einer ziemlich beschränkten Strecke seiner Bahn trifft dieses Bild die Oberfläche eines Hohlspiegels, dessen Krümmungsmittelpunkt auf dem Mittelpunkte der Figur und auf der Rotationsaxe des Spiegels gelegen ist, und während der ganzen Zeit, daß es dessen Oberfläche bestreicht, schlägt das Licht dieses Bildes den Rückweg ein und fällt wieder auf das Gitter in einem Bilde von gleicher Größe. Um dieses Bild zu beobachten, ohne das ursprüngliche Bündel zu verdecken, stellt man schief gegen dasselbe, dicht bei dem Gitter, zwischen diesem und der Objectivlinse ein entweder dickes oder dünnes Parallelglas auf, und beobachtet mit einem kräftigen Ocular die seitwärts geworfenen Bilder. Ist das Glas dick, so sind die beiden Bilder mehr oder weniger getrennt, ist es dünn, so überdecken sie einander größtentheils und man giebt dem Glase eine solche Neigung gegen das Bündel, daß die schwarzen aequidistanten Linien, mit denen dasselbe durchzogen ist, einander überdecken. Hierdurch benutzt man die Reflexionen von beiden Seiten. Der rotirende Spiegel bringt dieses Bild bei jeder Umdrehung wieder zum Vorschein, und wenn die Geschwindigkeit der Rotation gleichförmig ist, bleibt es unbeweglich im Raume. Bei Geschwindigkeiten, welche nicht 30 Umläufe in der Sekunde übersteigen, sind die successiv erscheinenden Bilder mehr oder weniger gesondert, allein über 30 Umläufe hinaus, sind

die Eindrücke auf das Auge bleibend und das Bild erscheint vollkommen ruhig.

Es ist leicht zu beweisen, daß der Spiegel, indem er sich schneller und schneller dreht, das Bild verschieben muß, wie wenn er es im Sinne seiner Bewegung mit sich führte. Denn das Licht, welches durch die Spalte des Gitters gegangen ist, kehrt nicht eher zu demselben zurück als bis es an dem rotirenden Spiegel zwei Reflexionen erlitten hat, getrennt durch die Dauer des doppelten Ganges zwischen dem rotirenden Spiegel und dem Hohlspiegel. Wenn nun der Spiegel rasch rotirt, kann die Dauer dieses Hin- und Herganges, selbst bei einer beschränkten Länge von 4 Metern, nicht für Null gelten, und vielmehr hat der Spiegel Zeit seine Lage beträchtlich zu ändern und dieß verräth sich durch eine Verschiebung des Bildes, welches von dem zurückkehrenden reflectirenden Strahl erzeugt wird. Streng genommen geschieht dieses immer, so wie der Spiegel selbst langsam rotirt; allein beobachtbar wird der Vorgang erst, wenn er eine gewisse Größe erreicht und man besondere Vorsichtsmaßregeln anwendet. Alle meine Anstrengungen waren darauf gerichtet, diese Ablenkungen so merklich wie möglich zu machen.

Die Hauptschwierigkeit, welche zu überwinden ist, entspringt daraus, daß das Licht bei einer so verwickelten Bahn sich zu keinem recht scharfen Brennpunkt vereinigen kann; die Einschnürung des Bündels bei seiner zweimaligen Reflexion an der sehr kleinen Fläche des rotirenden Spiegels vernichtet nothwendig die Schärfe des Bildes und bringt unvermeidlich in dessen Umrisßen eine Störung zu Wege. Eben deshalb nahm ich als Lichtquelle die linearen gleichabständigen Räume, welche ein sehr feines Drahtgitter darbietet. Obwohl das Bild, welches man dadurch erhält, niemals scharf ist, so erscheint es doch unter der Gestalt eines Systems von weißen und schwarzen Streifen, die den farblosen Fransen ähnlich sind und von denen jeder ein wohl bestimmtes Maximum und Minimum von Licht darbietet. Diese hellen und dunklen Räume sind demnach, wie

die Drähte des Gitters selbst, $\frac{1}{11}$ Millimeter von einander entfernt, und wenn man zur Beobachtung derselben ein in Zehntel-Millimeter getheiltes Mikrometer in dem Ocular anbringt, verrichten die beiden Liniensysteme den Dienst eines Nonius und erlauben ohne Unsicherheit eine Verschiebung von 0,01 Millimeter in dem Bilde wahrzunehmen.

Aus der schon bekannten Geschwindigkeit des Lichts findet man, daß man, bei einem Objective von 2 Metern Brennweite und einer doppelten Weglänge von 4 Metern, dem Spiegel keine übermäßige Geschwindigkeit (6- bis 800 Umläufe) zu geben braucht, um Verschiebungen von 0,2 bis 0,3 Millimetern zu erhalten. Allein es giebt ein ganz einfaches Mittel die Größe dieser Verschiebungen zu verdoppeln und dies kann in manchen Fällen von Nutzen seyn; ich habe es mehrmals versucht und mich versichert, daß es gelingt. Es besteht darin, daß man, wie Bessel angegeben, den vom rotirenden Spiegel reflectirten Lichtbündel mit einem dicht daneben befestigten Hülfs Spiegel auffängt und so vor und nach seiner Ankunft am Hohlspiegel zum rotirenden Spiegel zurücksendet. Durch die Betrachtung des virtuellen Bildes des rotirenden Spiegels in dem Hülfs Spiegel erlangt man dasselbe, was Hr. Arago mit Hülfe zweier gleichzeitig und entgegengesetzt rotirenden Spiegel erreicht hat, mit dem Vortheil, daß der drehende Spiegel und sein Bild immer strenge symmetrische Lagen haben, allein man geräth in die Uebelstände einer bedeutenden Verringerung der Lichtstärke und einer größeren Verwaschung des Bildes.

Dies ist die Einrichtung des optischen Apparats, der mir erlaubt hat, die Fortpflanzung der Lichtstrahlen nachzuweisen. Meine ersten Versuche gelangen in Luft bei einer doppelten Weglänge von 4 Metern mit einem Spiegel, der nicht mehr als 25 bis 30 Umgänge in der Sekunde macht.

Um sie im Wasser auszuführen, braucht man nur zwischen den rotirenden Spiegel und den Hohlspiegel eine Säule von dieser Flüssigkeit einzuschalten, begrenzt von zwei Parallelgläsern, in einer konischen Metallröhre, die

inwendig gefirnist ist, damit das Wasser klar bleibe; auch muß man dafür sorgen, daß die Endgläser keine Spannung in ihren Fassungen erleiden, und muß dem Uebelstande abhelfen, der durch die Einschaltung der 3 Meter dicken Wasserschicht aus der Vergrößerung der Brennweite entspringt. Es gelingt dann leicht mit dem geschwächten und grünlichen Lichtstrahl, den das Wasser durchläßt, ein eben so deutliches Bild zu erhalten, wie sich ohne Dazwischenkunft der Flüssigkeit bildet. Man braucht dann nur den Spiegel in Rotation zu versetzen und seine Geschwindigkeit genau zu messen, wenn man daraus die absoluten Geschwindigkeiten des Lichts in Luft und Wasser herleiten will, oder gleichzeitig mit beiden Mitteln zu operiren, wenn man bloß den Sinn des Unterschiedes dieser beiden Geschwindigkeiten kennen lernen will.

Um einen Spiegel in rasche Rotation zu versetzen hat man bisher zwei Mittel angewandt. Hr. Wheatstone bediente sich dazu eines Fadens, der um eine mit Axe versehene Rolle geschlungen ist; er erhielt damit eine Geschwindigkeit von 6- bis 800 Umläufen in der Sekunde. Nach ihm hat Hr. Breguet, durch Benutzung der vortrefflichen Eigenschaften des White'schen Getriebes, eine Geschwindigkeit von 1000 bis 1500 Umläufen erreicht. Es scheint mir, daß diese beiden Arten zur Mittheilung der Bewegung den Fehler haben, das Instrument zu schnell zu zerstören, daß sie nicht erlauben, die Geschwindigkeit auf eine continuirliche Weise zu ändern oder sie eine hinlängliche Zeit constant zu erhalten.

Der von mir benutzte Apparat ist, glaube ich, diesen Einwürfen nicht ausgesetzt; er theilt dem Spiegel eine Geschwindigkeit mit, die man, nach Belieben, von 30 bis 800 Umläufe verändern, hinreichend constant erhalten, und während der Beobachtung selbst messen kann.

Er besteht aus einer kleinen Dampf-Turbine, ziemlich einer Sirene ähnlich, aber einen verhältnißmäßig schwachen Ton gebend. Der angewandte Dampf, der unter einem Druck von 0,5 Atmosphäre aus dem Dampfkessel her-

vorkommt, wird im Moment, wo er in die Maschine tritt, durch eine Weingeistlampe überhitzt. Er entweicht durch zwei Oeffnungen, schief eingebohrt, auf einem selben Durchmesser, in die obere Wand der Kammer, über welcher der Teller der Turbine befindlich ist; letzterer hat 24 Löcher, die in entgegengesetztem Sinne neigen und durch dünne Zwischenwände von einander getrennt sind. Diese Wände sind die Schaufeln der Turbine, die wegen ihrer geringen Höhe nicht gekrümmt zu seyn brauchen. Die Ausflußöffnungen des Dampfs sind im Durchmesser fünf bis sechs Mal so groß als die Dicke der Zwischenwände, so daß der Dampf stetig ausströmt und nur einen geringen Ton giebt.

[Hr. F. beschreibt nun specieller die Einrichtung seiner Dampf-Turbine, an deren Axe der zum Rotiren bestimmte Spiegel befestigt ist. Da aber diese Beschreibung ohne Figuren wenig verständlich ist, so übergehen wir sie hier einstweilen, hoffend, daß Hr. F. baldigst die projectirten Versuche ausführen und dabei eine Abbildung des Apparates nachliefern werde. Dann fährt er fort wie folgt.]

Ich wage noch nicht Zahlen zu geben, oder die zu ihrer Auslegung dienende Formel aufzustellen; ich begnüge mich mit der Angabe, daß die bei einer Bahn von 4 Metern erhaltenen Ablenkungen bis auf ein Dreißigstel ihrer Größe beobachtbar sind. Bisher wurde die Rotationsgeschwindigkeit der Spiegel nur durch den beim Rotiren seiner Axe entstehenden Ton bestimmt, mittelst der Schläge, welche derselbe mit dem Ton einer abgeglichenen Stimmgabel liefert. Man stimmte die Turbine vom Beobachtungs-orte aus, indem man das Ausströmen des Dampfes mittelst eines Hahns regulirte, dessen Schlüssel einen langen Hebel trug, den man durch einen Faden, welcher aus einer in der Hand gehaltene Rolle gewickelt war, von weitem dirigierte. Weiterhin werde ich ein Mittel angeben, um die Rotationsgeschwindigkeit der Spiegel jeden Augenblick viel sicherer und rascher zu bestimmen.

Mich mit der Abschätzung der Geschwindigkeit durch

den Ton begnügend, habe ich durch zwei successive Beobachtungen bereits ermittelt, daß die *Ablenkung des Bildes nach dem Durchgang des Lichts durch Luft geringer ist als nach dem Durchgang durch Wasser*. Ich habe auch einen andern bestätigenden Versuch angestellt, darin bestehend, daß ich das Bild beobachtete, welches bei gleichzeitigem Durchgang des Lichts theils durch Luft, theils durch Wasser entstand. Bei geringen Geschwindigkeiten lagen die Streifen des gemischten Bildes fast in gegenseitiger Verlängerung, *allein bei Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit verschob sich das Bild und an der Gränzlinie seiner beiden Hälften waren die Streifen gebrochen, wobei die Streifen der Wasserhälfte im Sinne der allgemeinen Ablenkung voraus lagen*. Ueberdies erwiesen sich die Ablenkungen, bei Rücksicht auf die in Luft und Wasser durchlaufenen Wege, ziemlich proportional den Brechungsindizes. Diese Resultate deuten darauf, daß die *Geschwindigkeit des Lichts in Wasser geringer als in Luft ist*, und bestätigen also, nach den Ansichten des Hrn. Arago, vollständig die Aussprüche der Undulationstheorie.

Zu bemerken ist, wie es schon Hr. Arago gethan, daß der Versuch, indem er in dem Wasser eine geringere Geschwindigkeit als in der Luft nachweist, unwiderruflich zwischen beiden Systemen entscheidet. Hätte man das Umgekehrte gefunden, so wäre die Newton'sche Theorie noch haltbar, aber die Undulationstheorie würde nicht nothwendig umgestürzt seyn, da es möglich ist, den Aether so constituirt anzunehmen, daß, in welchem Sinne die Geschwindigkeit sich auch bei Aenderung des Mittels ändere, eine Erklärung gegeben werden kann.

[Hr. F. bemerkt nun, daß die angeführten Versuche wegen der nur beschränkten Länge, die man der Wassersäule, wegen der starken Lichtabsorption darin, geben könne, keine große Genauigkeit mit sich führen, und er deutet daher verschiedene Mittel an, um besser zum Ziele zu gelangen. Wir lassen diese Auseinandersetzung fort, in der Hoffnung, daß Hr. F. diese Vorschläge baldigst

zur Ausführung bringen und die Resultate davon veröffentlichten werde.]

Schließlich will ich zeigen [fährt Hr. F. fort] daß dieselbe Methode Mittel liefert, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärmestrahlung zu messen. Die Arbeiten der neueren Physiker, besonders die des Hrn. Melloni, erlauben keinen Zweifel mehr an der Identität der Licht- und Wärmestrahlung; es sind zwei Wirkungen einer und derselben Ursache; jede Modification, welche man der einen einprägt, findet sich auch bei der andern wieder. Wenn bei dem eben beschriebenen Versuch das Licht abgelenkt wird, muß sich damit auch der Ort des Wärmeeinflusses verschieben. Es scheint mir dies eine thatsächliche Nachweisung zu verdienen, und diese wird durch das Thermometer selbst gelingen, wenn man die Intensität des Lichtbündels gehörig mäßigt.

Wenn der drehbare Spiegel ruht und die richtige Incidenz darbietet, wird der ganze optische Apparat sogleich von der Lichtstrahlung durchlaufen und das Bild des Gitters besitzt eine mehr als hinlängliche Intensität, um auf die kleinen Thermometer einzuwirken, die ich, mit Hrn. Fizeau, zur Untersuchung der Wärme-Interferenzen angewandt habe. Wenn der Spiegel, mit beiden Flächen wirkend, zu rotiren beginnt, so wird das Bild dieselbe Intensität behalten, sobald das bewegliche Bild bei dieser Bewegung nicht aufhört auf eine spiegelnde und sphärische Fläche zu fallen, die ihren Mittelpunkt im Mittelpunkt der Bewegung hat. Diesen Bedingungen kann man sich nähern, wenn man die sphärischen Spiegel vervielfältigt und sie in die Bahn des beweglichen Bildes stellt; ein kleines Thermometer, aufgestellt dicht neben der Lichtquelle, an der Seite, nach welcher das feste Bild abweichen muß, wird in der That, sobald die Rotationsgeschwindigkeit hinlänglich vergrößert ist, eine Wirkung erleiden. Mehr will ich nicht sagen über einen Versuch, der noch anzustellen ist.

In Wirklichkeit enthält diese Abhandlung nur ein ein-

ziges Resultat: Die durch neue Mittel bewerkstelligte Ausführung des entscheidenden Versuchs, den Hr. Arago vor einigen Jahren erdacht hat, um sich definitiv zwischen den beiden Lichttheorien aussprechen zu können; allein diese Abhandlung hat noch den Zweck, eine Reihe von Anwendungen der neuen Methode, die wesentlich in der *Beobachtung des festen Bildes eines beweglichen Bildes* besteht, in Beschlag zu nehmen (*prendre date*).

VIII. Notiz in Betreff eines Versuchs über die comparative Geschwindigkeit des Lichts in Luft und in Wasser; von den HH. Fizeau und L. Breguet.

(*Compt. rend. T. XXX. p. 562.*)

Wir haben unternommen den wichtigen Versuch zu verwirklichen, den Hr. Arago in der letzten Sitzung der Akademie zur Sprache gebracht und wegen Augenschwäche bisher nicht hat ausführen können.

Der Rotationsapparat des Hrn. Breguet trägt einen kleinen Spiegel von 12 Mllm. Durchmesser, der eine Geschwindigkeit von 2000 Umläufen in der Sekunde erreichen kann, und leicht 12- bis 1500 Umläufe macht.

Die optische Einrichtung, welche wir anwenden, gründet sich auf die durch eine normale Reflexion bewirkte Rückkehr der Lichtstrahlen in sich selbst. Es ist die Einrichtung, die ich in einer früheren Arbeit beschrieben habe.

Das Licht geht aus von einem im Brennpunkt eines Fernrohrs gebildeten Luftbilde, dringt durch ein Objectiv, trifft auf einen rotirenden Spiegel und reflectirt sich lothrecht an einem festen Spiegel, kehrt dadurch zum rotirenden Spiegel zurück, durchläuft abermals das Objectiv und langt so wieder im Brennpunkt an.