I.

*Ueber die Erscheinungen,
welche die Zurückwerfung und die Brechung des
Lichts begleiten,*

v o n

dem Oberstlieutenant Malus, Mitgl. d. Inst.

(vorgel. in der ersten Kl. d. Inst. am 7. Mai 1811)

Frei übersetzt von Gilbert.

Ich habe schon mehrmals die Ehre gehabt, die Klasse von den sonderbaren Umständen zu unterhalten, die eintreten, wenn das Licht an der Oberfläche der undurchsichtigen und der durchsichtigen Körper zurückgeworfen wird. Die neuen Resultate, die ich ihr jetzt vorzulegen im Begriff bin, verbreiten volles Licht über die physikalischen Eigenschaften, welche das Licht durch Einfluß der Körper annimmt, die dasselbe zurückwerfen. Sie vollenden einigermassen die Theorie dieses neuen Zweigs der Optik, indem sie sie auf eine kleine Zahl wohl unterschiedner Thatfachen zurückführen, die verbunden die mannigfaltigen und außerordentlichen Erscheinungen erzeugen, welche man bei diesen Versuchen wahrnimmt.

Ueber das, was ich unter einem *polarisirten* Lichtstrahl verstehe, habe ich mich schon hinlänglich erklärt *). Ich nenne so einen Lichtstrahl, der

I 2

*) In einer Vorlesung am 11. März 1811; diese *Annalen* Jahrgang 1811. St. 7., oder *N. F. B.* 8. S. 228 f., und zwar das. S. 240. Gilbert.

bei gleichem Einfallswinkel auf einen durchsichtigen Körper die Eigenschaft hat, entweder zurückgeworfen zu werden, oder sich der Zurückwerfung zu entziehen, je nachdem er dem einwirkenden Körper eine andere Seite zuwendet; und es stehen diese Seiten oder Pole des Lichtstrahls stets auf einander unter rechten Winkeln.

Ich hatte ferner bemerkt, daß, um einen Lichtstrahl zu polarisiren, es hinreichend ist, ihn entweder durch einen Krytall von doppelter Strahlenbrechung hindurchgehen zu lassen, wobei zwei entgegengesetzte polarisirte Lichtbündel entstehen *); oder ihn von einem nicht belegten Spiegelglaste, das mit der Richtung des Strahls einen Winkel von $55^{\circ} 25'$ macht, zurückwerfen zu lassen, in welchem Falle, wie ich bewiesen habe, alles zurückgeworfne Licht auf die eine Art, der gebrochne Strahl dagegen auf die entgegengesetzte Art polarisirt wird, und zugleich dem zurückgeworfnen Lichte proportional ist.

Von dieser letztern Thatfache gehe ich bei den hier zu erzählenden Versuchen aus.

1.

Um der Phantasie zu Hülfe zu kommen, wollen wir uns einen senkrecht herabkommenden Licht-

*) *Deux faisceaux polarisés en sens contraire*, so nennt Hr. Malus, wie aus dem vorigen Absatz erhellt, zwei Lichtstrahlen, worin die übereinstimmenden Seiten oder Pole des einen auf die des andern senkrecht stehen, eigentlich also einander nicht ganz entgegen gesetzt sind.

Strahl denken, der in der Richtung des Meridians polarisirt ist, und unter den ein nicht belegtes Spiegelglas so angebracht sey, daß es sich um diesen Strahl rund umher drehen lasse, während es mit demselben immerfort einen Winkel von $35^{\circ} 25'$ macht. Um das Licht, welches in den verschiednen Lagen dieses Spiegelglases durch dasselbe hindurchgeht, zu analysiren, setzte ich darunter einen rhomboedrischen isländischen Krytall so, daß der Hauptschnitt desselben in der Mittagsebene ist. Die Ebene, welche durch den einfallenden und den von dem Spiegelglase zurückgeworfenen Strahle geht, will ich die *Einfallsebene* nennen *).

Die Einfallsebene befinde sich nun zuerst in der Mittagsebene. In diesem Fall ist der zurückgeworfene Strahl vollständig polarisirt, so daß, wenn man ihn durch einen isländischen Krytall hindurchgehn

*) Bei dem Originale finden sich keine Figuren. Zur Erleichterung der Vorstellung habe ich auf Taf. I. in Fig. 1. diese Vorrichtung in einer ziemlich rohen Zeichnung dargestellt. AB ist der senkrechte polarisirte Strahl, dessen eine Seite α in der Mittagsebene MN liegt, und dessen andere Seite β auf dieser Ebene senkrecht steht. Er fällt auf das unbelegte Spiegelglas SP unter einem Winkel $ABL = 35^{\circ} 25'$ auf (vergl. *Ann. N. F. B. 7. S. 110*), und wird, ist BM das Einfallsloth, theils zurückgeworfen in der durch AB und BM gehenden Einfallsebene AE, so daß $GBC = LBA$ ist, theils geht er durch das Spiegelglas, zweimal gebrochen, in derselben Richtung BD, in welcher er ankam, hindurch, und hier trifft er in D auf den isländischen Krytall, der so steht, daß seine Oberfläche horizontal, und sein Hauptschnitt HI in der Richtung der Mittagsebene MN ist. Gilbert.

ließe, dessen Hauptschnitt mit der Einfallsebene parallel wäre, er in einem einzigen Strahlenbündel nach dem gewöhnlichen Brechungsgesetze würde gebrochen werden. Auch der Strahl, der durch das Spiegelglas *hindurchgeht*, wird dann durch das darunter stehende Rhomboeder in einem einzigen gewöhnlichen Strahle gebrochen.

Dreht man nun das Spiegelglas um den senkrechten Lichtstrahl wie um eine Axe, so daß z. B. die Einfallsebene sich der Richtung Nord - West nähert, so vermindert sich das Licht, welches das Glas *zurückwirft*, der Menge nach, bleibt aber vollkommen polarisirt, und zwar in Beziehung (*par rapport*) auf die neue Einfallsebene. Des *gebrochenen* Lichtes wird in eben dem Verhältnisse mehr, als die Menge des zurückgeworfenen Lichtes abnimmt; was aber zu dem hinzukömmt, welches in der ersten Lage des Glases hindurchging, ist in Beziehung auf die neue Einfallsebene polarisirt. Der gebrochne Strahl wird daher dann beim Durchgehen durch den untern Rhomboeder in zwei Strahlen zerlegt, von denen der ungewöhnlich gebrochne sein *Maximum* der Intensität erreicht, wenn das Spiegelglas die Hälfte einer Viertel - Umdrehung gemacht hat, wenn folglich in unserm Falle die Einfallsebene in der Richtung Nord - West ist; und in dieser Lage wirft das Spiegelglas genau halb so viel Licht zurück, als in der ersten.

Fährt man fort, das Spiegelglas zu drehen, und nähert die Einfallsebene der Richtung nach West, so nimmt das *zurückgeworfne* Licht noch ferner an

Intenſität ab, das *gebrochne* Licht dagegen in eben dem Verhältniſſe zu; und der ins untere Rhomboeder durch die außerordentliche Brechung erzeugte Strahl wird ſchwächer, indeß der gewöhnlich gebrochne Strahl an Intenſität immer mehr zunimmt. Hat endlich das Spiegelglas genau eine Viertel-Umdrehung gemacht, ſo wirkt es nicht ein einziges Lichttheilchen mehr zurück, und der Strahl, den es hindurchläßt, wird in dem untern Kryſtall in einen einzigen Lichtbündel auf gewöhnliche Art gebrochen.

Alſo nimmt das zurückgeworfne Licht ab, das gebrochne dagegen immer zu, von der erſten Lage des Spiegelglases an, bis beim Drehen deſſelben die Einfallsebene einen Bogen von 90 Graden durchlaufen hat. Zugleich nimmt auf eben dieſe Art der im untern Rhomboeder durch gewöhnliche Brechung gebildete Strahl von der erſten Lage bis zu dieſer letztern immerfort zu; der ungewöhnlich gebrochne Strahl nimmt aber nur ſo lange zu, bis die Einfallsebene einen Winkel von 45 Graden durchlaufen hat; dann nimmt er wieder ab, und wird null, wenn das Glas den vierten Theil einer Umdrehung vollendet hat. Bei einer ganzen Umdrehung hat folglich das *zurückgeworfne* Licht zwei *Maxima*, welche den Richtungen Nord und Süd, und zwei absolute *Minima*, die den Lagen Oſt und Weſt zugehören; eben ſo hat das *durchgelaffene* Licht und der Theil deſſelben, welcher in dem Rhomboeder die *gewöhnliche* Brechung erleidet, zwei *Mini-*

ma, den Lagen Nord und Süd, und zwei *Maxima* den Lagen Ost und West entsprechend; das *ungewöhnlich*-gebrochne Licht hat dagegen vier absolute *Minima*, welche den Lagen N, S, O, W, und vier absolute *Maxima*, welche den Lagen NW, SO, NO, SW entsprechen.

2.

Ist die Einfallsebene in einer dieser letztern Lagen, z. B. in der NW, so läßt sich eine besondere Erscheinung wahrnehmen, welche zu einem wichtigen Resultate über das Maafs der verschiedenen Intensitäten des zurückgeworfnen und des hindurchgelassenen Lichtes führt. Zu dieser Lage gehört eins der *Maxima* des ungewöhnlich gebrochenen Lichtes. Dreht man das untere Kalkspath-Rhomboeder ein wenig, so daß der Hauptschnitt nach NO zu vorrückt, so nimmt der ungewöhnlich gebrochne Strahl sehr schnell an Stärke ab, und verschwindet selbst ganz, wenn das Licht nicht sehr intensiv ist; über diese Gränze hinaus erscheint er wieder. Wenn man den von dem Hauptschnitt beschriebnen Winkel, welchem dieses neue *Minimum* entspricht, beobachtet, so läßt sich daraus direct auf das Verhältniß schließen, worin das hindurchgelassne Licht in seinem *Maximo* und in seinem *Minimo* steht. In der That führt auch die Theorie zu dem Resultate, daß das Licht, welches das Spiegelglas in seiner ersten Lage hindurchläßt, zu der Lichtmenge, um welche jenes Licht nach einer Viertel-Umdrehung vermehrt worden ist, sich wie die Einheit zu zweimal der Tan-

gente des doppelten Winkels, den man beobachtet hat, verhält. Es läßt sich folglich durch Mefsen eines einzigen Winkels das Haupt-Element dieser Phänomene bestimmen. Ist diese GröÙe einmal bestimmt, so kann man daraus leicht, vermöge der Theorie, das Verhältniß der Intensität des gewöhnlich - und des ungewöhnlich - gebrochenen Strahls, nicht bloß in ihren *Maximis*, sondern auch in jeder andern Lage dazwischen ableiten.

3.

Man denke sich das Spiegelglas wiederum in der Lage, in welcher es das Viertel einer Umdrehung gemacht hat, und stelle sich vor, es werde nun um eine horizontale Axe drehbar, so, daß die Einfallsebene immerfort einen Winkel von 45° mit der Mittagsebene mache, während der Winkel, unter welchem der senkrechte Strahl gegen das Glas geneigt ist, größer und kleiner werde *). Macht das Glas einen Winkel nur von einigen Graden mit dem Horizonte, so wirft es den einfallenden senkrechten Strahl zum Theil zurück, das zurückgeworfne Licht findet sich dann aber nicht, wie in dem vorigen Versuche, in Beziehung auf die Einfallsebene, sondern in Beziehung auf die Mittagsebene polarisirt. Hat man auf dem Spiegel-

*) Wenn also in Fig. 2., LG wiederum den Durchschnitt der Einfallsebene AE mit dem Spiegelglase SP vorstellt, und wenn die Linie RQ in dem Glase, in der Richtung der Mittagsebene MN, durch den Einfallspunkt B des Lichtstrahls senkrecht auf LG gezogen ist, so denke man sich, das Spiegelglas werde um die horizontale Axe RQ gedreht.

glase eine Linie, in der Richtung der Mittagsebene gezogen, und läßt das zurückgeworfne Licht auf einen isländischen Krytall fallen, dessen Hauptschnitt mit dieser Linie parallel ist, so wird dann der ganze Lichtstrahl in dem Krytalle in einem einzigen gewöhnlichen Strahle gebrochen werden.

Vergrößert man die Neigung des Spiegelglases gegen den senkrechten Strahl *), so findet sich in dem zurückgeworfnen Lichte, *erstens* Licht, welches in Beziehung auf die Mittagsebene polarisirt ist, und *zweitens* ein anderer Antheil Licht, der in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirt ist. Macht das Spiegelglas mit dem senkrechten Strahl einen Winkel von $35^{\circ} 25'$, so wird alles zurückgeworfne Licht in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirt; über diese Gränze hinaus fängt es aber wiederum an zum Theil in Beziehung auf die Mittagsebene polarisirt zu werden, und der in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirte Lichtantheil nimmt an Intensität ab, bis das Spiegelglas die senkrechte Lage erreicht hat.

Es ist kaum nöthig, zu bemerken, daß in allen diesen Lagen der durch Brechung in dem untern Rhomboeder gebildete *außerordentliche* Strahl stets derjenigen Menge des zurückgeworfnen Lichtes, welche in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirt wird, proportional ist. Dreht man

*) Das heißt, *verkleinert* man den *Neigungswinkel* des Strahls gegen das Spiegelglas, indem man dieses letztere so dreht, daß es mit dem Horizonte einen größern Winkel macht.

das Rhomboeder, wie in dem vorigen Versuche, so, daß der Winkel, den der Hauptschnitt desselben mit der Einfallsebene macht, immer größer wird, so erreicht der außerordentliche Strahl ein *Minimum* der Intensität, und durch Messen der Größe des beschriebenen Winkels ergiebt sich das Verhältniß, worin die Menge des polarisirten Lichtes zu der steht, welche durch das Spiegelglas, ohne diese Modification zu erleiden, hindurch geht. Durch dieses Mittel läßt sich folglich die Menge von Licht bestimmen, welche unter verschiedenen Einfallswinkeln polarisirt wird, und das Messen bei diesem Phänomen wird auf bloßes Beobachten von Winkeln zurück gebracht, wodurch dieses Problem, welches bisher für mich mit den größten Schwierigkeiten verstrickt war, sich bedeutend vereinfacht.

4.

Man setze in dem vorigen Versuche an die Stelle des Spiegelglases, ganz unter denselben Umständen, einen ebenen *Metallspiegel*, so daß die Einfallsebene des senkrechten Strahls auch bei ihm unverändert einen Winkel von 45° mit der Mittagsebene mache. Ist dieser Spiegel nur einige Grade gegen den Horizont geneigt, so findet sich alles Licht, welches er zurückwirft, in Beziehung auf die Mittagsebene polarisirt, wie es das einfallende Licht des senkrechten Strahles war. Wird die Neigung des Spiegels gegen den Horizont vergrößert, so wirft er Licht zurück, wovon ein Theil in Beziehung

auf den Meridian, ein anderer Theil in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirt ist; und man erreicht endlich eine gewisse Neigung, in welcher das Licht ganz und gar in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirt wird. Ueber diese Gränze hinaus erscheint in dem zurückgeworfnen Strahle wieder Licht, das in Beziehung auf den Meridian polarisirt ist, und das in Beziehung auf die Einfallsebene polarisirte Licht nimmt an Intensität immer mehr ab, bis der Spiegel vertical wird.

Die durchsichtigen Körper und die Metalle wirken folglich genau auf einerlei Art, auf das Licht, welches sie zurückwerfen. Der einzige Unterschied ist, daß die durchsichtigen Körper alles Licht, welches sie in der einen Richtung (*dans un sens*) polarisiren, durch sich hindurch lassen und brechen, und das in der andern Richtung (*dans le sens contraire*) polarisirte Licht zurückwerfen; daß dagegen die Metalle das durch sie in der einen und in der andern Richtung (*dans les deux sens*) polarisirte Licht beides zurückwerfen: wohl verstanden jedoch, daß sie dabei an dem Vermögen Theil nehmen, welches alle andere undurchsichtige Körper haben, in größserer Menge die Arten von Strahlen zu verschlucken, welche die durchsichtigen Körper durch sich hindurch lassen.

Dieser letztere Versuch giebt uns ein Mittel an die Hand, den *Winkel* zu bestimmen, unter welchem polirte Metalle das Licht polarisiren, und zeigt zugleich, warum es unmöglich war, bei ihnen

diesen Winkel durch dieselbe Methode zu bestimmen, deren ich mich bei den durchsichtigen Körpern bedient hatte. Denn wenn natürliches [unverändertes] Licht auf das Metall unter diesem Winkel auffällt, so enthält der zurückgeworfne Strahl zugleich die Lichttheilchen, welche in der einen, und die, welche in der andern Richtung polarisirt sind, und er muß daher, wenn man ihn durch einen isländischen Krytall zerlegt, dieselben Eigenschaften zeigen, als der unter den größten und der unter den kleinsten Einfallswinkeln zurückgeworfne natürliche Lichtstrahl, welches in diesem Fall die Gränze, die wir suchen, unbestimmbar macht. Man vermeidet diese Schwierigkeit, wenn man einen schon polarisirten Lichtstrahl von dem Metallspiegel zurückwerfen läßt; muß dann aber, nicht wie bei den durchsichtigen Körpern, den Winkel, unter welchem die Polarisation am vollständigsten ist, sondern vielmehr den Winkel, unter welchem die Entpolarisation (*la dé-polarisation*) am vollständigsten ist, beobachten. Man muß aus diesem Grunde bei den *Metallen* sich der Zurückwerfung eines schon polarisirten Lichtstrahls bedienen, und dabei darauf sehen, daß die Pole des Strahls einen Winkel von 45° mit der Einfallsebene machen; man beobachtet dann den Winkel, unter welchem das Licht entpolarisirt, wie ein natürlicher Strahl, erscheint. Für die *durchsichtigen Körper* bedient man sich dagegen der Zurückwerfung eines natürlichen Strahls, und beobachtet den Winkel, unter welchem das Licht vollständig

polarisirt zu seyn scheint. Diese Winkel lassen sich in beiden Fällen mit gleicher Genauigkeit bestimmen.

Die hier angeführten Versuche beweisen, daß die Schwierigkeit, diese Erscheinungen bei den Metallen zu beobachten, wenn man einen directen Lichtstrahl anwendet, nicht, (wie ich in meiner *Théorie de la double réfraction* p. 250 vermuthet hatte,) daher rührt, daß das partiell zurückgeworfene Licht, welches diese Modification erlitten hat, mit den von der totalen nicht modificirten Zurückwerfung herrührenden Lichtstrahlen vermengt wird; vielmehr werden die Strahlen, welche ich total zurückgeworfen nannte, (um sie von denen zu unterscheiden, welche, wie ich glaubte, von einer partiellen Reflexion herrührten, auf ähnliche Art wie bei durchsichtigen Körpern,) ebenfalls vollständig polarisirt, werden es aber in zwei verschiedenen Richtungen zu gleicher Zeit.

Diese Versuche beweisen zweitens, daß das gewöhnliche Licht, welches von den Körpern unter größern oder kleinern Winkeln, als dem bestimmten, zurückgeworfen wird, die Eigenschaften des natürlichen Lichtstrahls nicht deshalb besitzt, (wie ich gleichfalls p. 239 vermuthet hatte,) weil es aus Licht besteht, das in den beiden angegebenen Richtungen polarisirt ist, sondern weil es die Modification, welche die Polarisirung hervorbringt, in der That nicht erlitten hat.

5.

Die Thatfachen, welche in dieser Abhandlung enthalten sind, weisen uns also die Methoden nach,

die man befolgen muß, um in den verschiedenen Fällen eine genaue Messung der Erscheinungen zu erhalten. Sie klären alles Problematische auf, welches diese Theorie noch enthielt, und es flossen aus ihnen die nachstehenden *Folgerungen* auf eine nicht zu bezweifelnde Weise:

1) Alle Körper in der Natur, ohne Ausnahme, polarisiren vollständig das Licht, welches sie unter einem gewissen bestimmten Winkel zurückwerfen. Ueber diesen Zurückwerfungs - Winkel hinaus, und unterhalb desselben, nimmt aber das Licht diese Modification nur auf eine unvollständige Weise an.

2) Die Metalle, welche mehr Licht als die durchsichtigen Körper zurückwerfen, polarisiren davon auch mehr. Diese Modification inhärrt der Art von Kräften, welche die Zurückwerfung bewirken.

Endlich führen uns diese neuen Erscheinungen der Wahrheit um einen Schritt näher, indem sie das Unzureichende aller Hypothesen darthun, welche die Physiker erfonnen haben, um die Zurückwerfung des Lichts zu erklären. So z. B. läßt sich in keiner dieser Hypothesen erklären, warum der intensivste Lichtstrahl, wenn er polarisirt ist, unter einer gewissen Neigung ganz durch einen durchsichtigen Körper hindurchgehn, und sich der partiellen Zurückwerfung, welche das gewöhnliche Licht erleidet, ganz entziehn kann.