VI.

Ueber die

*Erscheinungen, welche von der Gestalt
der Lichttheilchen abhängen;*

vom

Ingenieur MALUS zu Paris.

Frei übersetzt von Gilbert *).

Herr Malus hatte in seinem Aufsatze, den der Leser im vorigen Bande dieser *Annalen*, S. 286, gefunden hat, die Entdeckung bekannt gemacht, daß Licht, welches von der Oberfläche durchsichtiger Körper zurück geworfen wird, neue Eigenschaften annimmt, durch die es sich wesentlich von dem Lichte unterscheidet, welches direct von leuchtenden Körpern ausstrahlt. Er hat seitdem seine Untersuchungen über diesen Gegenstand fortgesetzt,

*) Nach einem von dem Professor Poisson in Paris herührenden Auszuge (in dem *Nouv. Bulletin des Sc. de la Soc. Philom. Mai, Juin 1809.*) aus einer Vorlesung, in welcher Herr Malus, im März dieses Jahrs, dem National-Institute den Verfolg seiner merkwürdigen Untersuchungen über das Licht mitgetheilt hat; Untersuchungen, welche ich den deutschen Naturforschern im vorher gehenden Bande dieser *Annalen*, (Märzheft 1809.) im Zusammenhange vorgelegt habe. Ich hoffe, es sey mir geglückt, durch meine Bearbeitung diesen wichtigen, von dem französischen Berichtserstatter altzu sehr abgekürzten, Aufsatz etwas lichtvoller zu machen, wo nur immer der Zusammenhang ausreichte, das Schwankende des Sinnes zu bestimmen.

Gilbert.

und in der Abhandlung, über die wir hier Bericht erstatten, stellt er die Folgerungen auf, zu denen er geführt worden ist.

Er hatte bemerkt, daß das Licht, welches an der Oberfläche eines durchsichtigen Körpers unter einem gewissen Winkel zurück geworfen wird, die Eigenschaften der Strahlen erhält, auf welche die doppelte Strahlenbrechung eingewirkt hat. Von dieser Beobachtung ging er aus, und indem er sie verfolgte, gelang es ihm, mit der bloßen Hülfe durchsichtiger Körper die Lichtstrahlen so zu modificiren, daß sie ganz und gar der partiellen Zurückwerfung entgehen, welche sie unter den gewöhnlichen Umständen an der Oberfläche dieser Körper leiden. Er macht, daß ein Sonnenstrahl durch eine beliebige Menge dieser Körper hindurch geht, ohne daß ein einziges Theilchen desselben zurück geworfen wird, und gründet darauf ein Mittel, die Menge des Lichts, welches die durchsichtigen Körper verschlucken, mit Genauigkeit zu messen; eine Aufgabe, welche die partielle Zurückwerfung, die das Licht an ihrer Oberfläche leidet, bis jetzt unauflösbar gemacht hatte.

Auf diese Art modificirtes Licht hört ebenfalls unter bestimmten Winkeln auf, von undurchsichtigen polirten Körpern zurück geworfen zu werden, und wird unter diesen Winkeln von ihnen ganz und gar verschluckt. Bei größern oder bei kleinern Winkeln wird ein Theil des Lichtstrahls

an der Oberfläche dieser Körper zurück geworfen.

Läßt man einen Sonnenstrahl auf ein noch nicht belegtes polirtes Spiegelglas fallen, so wird ein Theil desselben an der ersten; und ein anderer Theil an der zweiten Oberfläche zurück geworfen, und die Intensität des zurück geworfenen Lichtes ist gröfser, je gröfser der Einfallswinkel ist (diesen Winkel von dem Einfallslothe ab gerechnet), je schiefser also der Strahl auf die zurück werfende Fläche auffällt.

Dieses Gesetz der Intensität gilt jedoch nur für das Licht, welches direct von leuchtenden Körpern herkommt. Licht, welches schon eine Zurückwerfung erlitten hat, richtet sich nach einem ganz andern Gesetze, wenn es von einer zweiten Glasfläche nochmalts zurück geworfen wird. Es nimmt dann in gewissen Richtungen, wenn der Einfallswinkel gröfser wird, an Intensität nicht zu, sondern im Gegentheile ab, und erst, nachdem es ein gewisses *Minimum* erreicht hat, nimmt die Intensität desselben wieder zu, und zwar nach demselben Gesetze, welches für das directe Licht gilt. Diese *Minima* hängen ab, theils von den Winkeln, welche der Strahl mit den beiden zurückwerfenden Oberflächen macht, theils von der Neigung dieser Flächen gegen einander selbst, so daß die von der zweiten Oberfläche zurück geworfene Lichtmenge eine Function dieser drei Winkel ist. Diese Function hat ein *absolutes Minimum*, das

heißt, ein solches, wobei die Menge des von der zweiten Fläche zurück geworfenen Lichts völlig null ist. Herr Malus ist auf die Umstände, unter welchen dieses *Minimum* Statt findet, durch die Rechnung geführt worden; durch den folgenden sehr einfachen Versuch bestätigte er die Richtigkeit derselben.

Man neige zwei Spiegelgläser gegen einander unter einem Winkel von $70^{\circ} 22'$, und denke sich zwischen beiden eine Linie so gezogen, daß sie mit beiden Spiegelgläsern einen Winkel von $35^{\circ} 25'$ macht. Jeder Lichtstrahl, der von dem einen dieser beiden Gläser parallel mit dieser Linie zurück geworfen wird, wird von dem zweiten Glase nicht zurück geworfen, sondern dringt in dasselbe hinein, ohne daß auf ein einziges Theilchen desselben die repulsiven Kräfte einwirken, welche die partielle Zurückwerfung des Lichts an der Oberfläche der durchsichtigen Körper bewirken. Ueber die hier angegebenen Winkel hinaus und unterhalb derselben findet die Erscheinung nicht Statt, und je weiter man sich von diesen Grenzen diesseits oder jenseits entfernt, desto größer wird die Menge des zurück geworfenen Lichtes.

Diese durch eine erste Zurückwerfung erlangte Eigenschaft, ganz in durchsichtige Körper hinein zu dringen, verliert das Licht oder es behält sie, je nach dem die Umstände verschieden sind. Das Studium dieser Umstände hat Herrn Malus zu folgendem Gesetze geführt, nach welchem diese son-

derbare Erscheinung sich richtet: „Es werde um den zum ersten Male zurück geworfenen Strahl a die zweite Glasebene so gedreht, daß sie beständig mit demselben einen Winkel von $35^{\circ} 25'$ macht, und man denke sich zwei gerade Linien, von denen die eine b mit der ersten, die zweite c mit der zweiten Glasebene parallel sind *); so ist die Menge des von dieser zweiten Glasebene zurück geworfenen Lichtes dem Quadrate des Cosinus des zwischen den Linien b und c enthaltenen Winkels proportional: sie ist ein *Größtes*, wenn diese beiden Linien einerlei Richtung haben, und *null*, wenn diese beiden Linien auf einander senkrecht stehen.“ Die Grenzen des Phänomens beziehen sich also auf *drei rechtwinklige Achsen* a, b, c , von denen die *eine* mit der Richtung des Strahls, und die *zweite* mit der ersten der zurück werfenden Ebenen parallel ist, und von denen die *dritte* auf diese beiden ersten Achsen senkrecht steht.

Man denke sich statt des zweiten Glases einen *Metallspiegel*, und bezeichne mit a', b', c' die Achsen des zum zweiten Male [von dem Spiegel] zurück geworfenen Strahls, welche den Achsen des ersten [vom Glase] zurück geworfenen Strahls a, b, c analog sind. Läßt man nun den von dem Metallspiegel zurück geworfenen Lichtstrahl auf eine [zweite] unbelegte, polirte Spiegelfläche unter ei-

*) Zum bessern Verständnisse wird Fig. 2. Taf. IV dienen, wenn sie gleich keinen Anspruch auf perspectivische Richtigkeit hat.

nem Winkel von $35^{\circ} 25'$ auffallen, so zeigen sich folgende Erscheinungen, die von dem Einfallswinkel auf den Metallspiegel unabhängig sind. Ist b' mit b parallel, das heißt, ist der Metallspiegel der Achse b parallel, so behält der Lichtstrahl, den er zurück wirft, seine Eigenschaften in Beziehung auf eine der Achse c' parallele [zweite] Glasebene; er dringt ganz in sie hinein. Ist dagegen b' mit c parallel, so behält der vom Spiegel zurück geworfene Strahl seine Eigenschaften für eine der Achse b' parallele Glasebene. In den Zwischenlagen ist die Menge des Lichts, welches seine Eigenschaften in Beziehung auf eine mit der Achse b parallele Glasebene behält, dem Quadrate des Sinus des zwischen den Achsen b' und b enthaltenen Winkels proportional; und die Menge des Lichts, welches in Beziehung auf eine mit der Achse c parallele Glasebene seine Eigenschaft behält, ist dem Quadrate des Cosinus desselben Winkels proportional.

Macht der Metallspiegel gleiche Winkel mit den Achsen b, c , so macht b' mit jeder dieser Achsen einen Winkel von 45° ; und dann verhält sich das zurück geworfene Licht auf gleiche Art für eine mit der Achse b' und für eine mit der Achse c' parallele (zweite) Glasebene; es scheint in diesem Falle alle Eigenschaften des directen Lichtes wieder angenommen zu haben.

Wird der vom Metallspiegel zurück geworfene Strahl mittelst eines Kalkspath Krytalls, dessen Hauptschnitt der Zurückwerfungsebene parallel

steht, gespalten, so ist das Verhältniß (*rapport*) der Intensitäten des *ungewöhnlich* und des *gewöhnlich* gebrochenen Strahls, dem Quadrat der Tangente des zwischen den Achsen b' und b enthaltenen Winkels gleich.

Läßt man den Lichtstrahl mehrmahl von Metallspiegeln zurück geworfen werden, ehe er auf den zweiten durchsichtigen Körper auffällt, so sind die Erscheinungen den hier angegebenen ähnlich. Ist die Achse b' des zweiten Strahls der Achse b oder der Achse c des ersten Strahls parallel; ist ferner die Achse b'' des dritten Strahls der Achse b' oder der Achse c des zweiten Strahls parallel, und so ferner; so wird die angeführte Eigenschaft des Lichtes nicht verändert; und sind diese Achsen gegen einander geneigt, so theilt sich das Licht in Beziehung auf die beiden auf einander folgenden Spiegel nach dem Gesetze, welches wir angegeben haben.

Wenn man um die Achse c des ersten zurück geworfenen Strahls die Oberfläche eines undurchsichtigen polirten Körpers, z. B. von schwarzem Marmor, dreht, so findet man, daß das zurück geworfene Licht bis zu einer gewissen Grenze abnimmt, bei der es null ist, und über die hinaus es wieder zunimmt.

Alle gewöhnlichen Erscheinungen der Optik lassen sich eben so gut nach Huyghen's Hypothese aus Schwingungen eines Aethers, als nach Newton's Vorstellung aus der Einwirkung der Körper

auf die Lichttheilchen erklären, welche nach ihm denselben anziehenden und zurückstossenden Kräften unterworfen sind, aus denen wir die andern Naturerscheinungen ableiten. Auch die Gesetze, nach welchen sich der Gang der Strahlen bei der doppelten Strahlenbrechung richtet, kann man nach der einen und nach der andern dieser Hypothesen erklären. Aber die eben beschriebenen Beobachtungen, welche beweisen, dass die Erscheinungen der Zurückwerfung für denselben Einfallswinkel verschieden sind, lassen sich mit Huyghens Hypothese nicht vereinigen, und sind in ihr unmöglich. Hr. Malus schliesst darauf, dass nicht nur das Licht eine Substanz ist, welche der Herrschaft derselben Kräfte unterthan ist, denen die übrigen Körper gehorchen, sondern dass auch die Gestalt und die Lage der kleinsten Theilchen des Lichtes einen grossen Einfluss auf die Lichterscheinungen haben.

Ueberträgt man auf die Lichttheilchen selbst die drei rechtwinkligen Achsen a, b, c , auf welche sich die hier beschriebenen Erscheinungen beziehen, und setzt man, dass die Achse a stets in der Richtung des Lichtstrahles bleibt, indess die Achsen b und c durch Einwirkung der *repulsiven Kräfte* in eine auf die Richtung dieser Kräfte senkrechte Lage kommen; so werden alle Erscheinungen der totalen und partiellen Zurückwerfung, und selbst die ausserordentlichsten Umstände bei der doppelten Strahlenbrechung Folgen,

eine aus der andern, und fliessen alle aus dem einzigen *Gesetze*, welches hier folgt:

„Sieht man in einem Lichtstrahl auf die Bewegung der Lichttheilchen, um ihre drei Hauptachsen a , b , c , so ist die Menge der Theilchen, deren Achse b oder deren Achse c auf die Richtung der repulsiven Kräfte senkrecht wird, stets proportional dem Quadrate des Sinus desjenigen Winkels, den diese Linien um die Achse a zu beschreiben haben, um in jene Lage zu kommen; und umgekehrt ist die Menge von Theilchen, deren Achsen b oder c möglichst nahe in der Richtung der repulsiven Kräfte liegen, proportional dem Quadrate des Cosinus desjenigen Bogens, den diese Linien in ihrer Rotation um die Achse a zu beschreiben haben, um in die Ebene zu kommen, welche durch die Achse a und durch die Richtung der repulsiven Kräfte geht.“

Für den Fall der doppelten Strahlenbrechung, und für die Erscheinungen, welche zwei an einander grenzende Krystalle zeigen, läßt sich dieses Gesetz folgender Maßen ausdrücken: „Man denke sich eine Ebene, welche durch den gewöhnlich gebrochenen Strahl und die Achse des ersten Krystalls geht, und eine zweite Ebene durch den ungewöhnlich gebrochenen Strahl und die Achse des zweiten Krystalls. Die Menge des Lichts, welche im ersten Krystalle durch die *gewöhnliche* Brechung abgefondert, und im zweiten Krystalle gewöhnlich gebrochen wird, ist proportional dem

Quadrate des Cosinus des zwischen diesen beiden Ebenen enthaltenen Winkels; und die Menge des im ersten Krystalle gewöhnlich, im zweiten aber ungewöhnlich gebrochenen Lichtes ist dem Quadrate des Sinus desselben Winkels proportional. Der im ersten Krystalle abgesonderte *ungewöhnliche* Strahl giebt ein ganz ähnliches Resultat: die Menge des im zweiten Krystalle ungewöhnlich gebrochenen Lichtes dieses Strahls ist dem Quadrate des Cosinus, und die Menge des darin gewöhnlich gebrochenen Lichtes dem Quadrate des Sinus desselben Winkels verkehrt proportional."

Bei der Zurückwerfung, wenn man z. B. einen Lichtstrahl betrachtet, der von einer ersten Glasfläche unter einem Winkel von $55^{\circ} 25'$ zurückgeworfen wird, und unter demselben Winkel auf eine zweite Glasfläche auffällt, wobei der Neigungswinkel der beiden Glasflächen willkürlich ist, — muß man sich Ebenen denken, welche durch diesen zurückgeworfenen Strahl gehen, und von denen die eine auf die erste, die andere auf die zweite Glasfläche senkrecht stehen. „Die Menge des von dem zweiten Glase zurückgeworfenen Lichtes ist proportional dem Quadrate des Cosinus des zwischen diesen beiden Ebenen enthaltenen Winkels."

Wir begnügen uns, hier einige Beispiele von der Anwendung dieses Gesetzes zu geben:

In einem Strahle, der von der Oberfläche eines Glases unter einem Winkel von $54^{\circ} 35'$ zurück

geworfen wird, müssen alle Theilchen auf einerlei Weise angeordnet seyn; denn wenn man einen solchen Strahl senkrecht auf einen Rhombus aus Kalkspath, dessen Achse in der Zurückwerfungsebene liegt, auffallen läßt, so werden alle Theilchen desselben so gebrochen, daß sie einen einzigen gewöhnlichen Strahl bilden, und nicht ein einziges Theilchen erleidet eine ungewöhnliche Brechung *). In diesem Falle sind also die analogen Achsen aller Theilchen unter einander parallel, da sich alle auf einerlei Weise verhalten. Wir wollen die Achsen der Theilchen, welche senkrecht auf der Zurückwerfungsebene sind, mit b bezeichnen (*Nommons b l'axe de ces molécules qui se trouvent perpendiculaires au plan de réflexion*). Alle Theilchen, deren Achse c auf diese Ebene senkrecht war, sind durch das Glas, an dessen Oberfläche die Zurückwerfung unter dem angegebenen Winkel geschah, hindurch gedrungen. Wenn man folglich den zurück geworfenen Theilchen ein zweites Glas, parallel mit ihrer Achse c , entgegen hält, so befinden sie sich in Beziehung auf diese Glasebene in demselben Falle, als in Hinsicht der ersten Glasebene die Theilchen waren, welche von ihr nicht konnten zurück geworfen werden; der Strahl wird folglich ganz in dieses zweite Glas hinein dringen. Die Erfahrung lehrt in der That, daß unter diesen Umständen alle Theilchen eines

*) Man vergleiche *Annalen*, Stück 3. 1809. S. 282. und 287 f. *Gilbert*.

solchen Strahls sich den zurückwerfenden Kräften entziehen.

Legt man zwei rhomboidalische Kalkspathe so auf einander, daß ihre Hauptschnitte parallel sind, so giebt bekanntlich ein diesen Schnitten parallel einfallender Sonnenstrahl nur zwei ausfallende Strahlen; indem sowohl der von dem ersten Kry-
stalle *gewöhnlich*, als der von ihm *ungewöhnlich* gebrochene Strahl, auch von dem zweiten Kry-
stalle jener in einen einzigen *gewöhnlichen*, dieser in einen einzigen *ungewöhnlichen* Strahl gebrochen wird. Es ist nicht schwierig, einzusehen, daß in diesem Falle (die Achsen der beiden Kry-
stalle mögen parallel oder entgegen gesetzt gerichtet seyn) kein Lichtstrahl, der aus dem ersten Kry-
stalle parallel mit dessen Hauptschnitt austritt, von dem zweiten Kry-
stalle gespalten werden kann. Denn die Bewegung geht um die Achsen *b* oder um die Achsen *c* vor sich, und die Erscheinungen der Zu-
rückwerfung belehren uns, daß jedes Mal, wenn die Bewegung um diese Achsen vor sich geht, der Strahl nicht verändert wird, und die gleichen Ach-
sen aller Theilchen desselben unter einander paral-
lel bleiben. Bloß die Rotation um die Achse *a* verändert die Theilchen desselben Strahls in ihrer gegenseitigen Lage.

Macht der einfallende Strahl irgend einen Winkel mit den Hauptschnitten der beiden Kry-
stalle, so wird jeder der Strahlen, welche durch die doppelte Brechung im ersten Kry-
stalle entstehen,

durch den zweiten Kryftall nochmahls in zwei Strahlen getheilt, fo dafs man vier ausfallende Strahlen erhält. Doch hat man unter diefen Umständen zwei Fälle zu unterfcheiden, in denen die Phänomene beftimmt verfchieden find; den Fall, wenn die Achfen der beiden Kryftalle parallel, und den Fall, wenn fie entgegen gefetzt gerichtet find. Im erften Falle mufs das Licht fehr lebhaft feyn und die Einfallsebene mit den Hauptschnitten einen merklichen Winkel machen, wenn man die von dem einen Kryftalle gewöhnlich und von dem andern ungewöhnlich gebrochenen Strahlen gewahr werden will. In der That ift nach der Theorie das *Maximum* der Intenfität diefer beider Strahlen nicht der dreifsigfte Theil von der des Strahls, welcher von der gewöhnlichen Brechung der beiden Kryftalle herrührt; welches die Phyfiker, die über diefe Materie gefchrieben haben, zu der Meinung verleitet hatte, dafs, wenn die Hauptschnitte und die Achfen der beiden Kryftalle parallel find, das Licht fich auf dieselbe Art als beim Einfallen in der Ebene des Hauptschnittes verhalte, welche Richtung auch der einfallende Strahl haben möge. Man braucht aber nur zu dem Verfuche recht helles Licht zu nehmen, und ihn unter den gehörigen Umständen anzustellen, fo entspricht die Beobachtung völlig der Theorie. Das Phänomen ift fehr viel fichtbarer, wenn die Achfen eine entgegen gefetzte Richtung haben.

Die *ungewöhnliche* Brechung wird von einer Repulsivkraft bewirkt, die dem Quadrate des Sinus des Winkels proportional ist; welchen die Achse des Krystalls mit der Hauptachse *a* des Lichttheilchens macht. Alle Lichttheilchen, deren Achse *b* senkrecht auf diese Kraft ist, werden *gewöhnlich* gebrochen; und alle die, deren Achse *c* senkrecht auf ihr ist, werden *ungewöhnlich* gebrochen. Die gewöhnlich gebrochenen Lichttheilchen, welche der Repulsivkraft entgehen (*échappent*), befinden sich in dem Falle der Theilchen, welche in der ersten Klasse der von mir aufgeführten Thatfachen, der Zurückwerfung entgehen.

Die Erscheinungen der doppelten Strahlenbrechung an der zweiten Oberfläche der durchsichtigen Krystalle sind denen der Brechung in zwei Krystallen analog, deren Hauptschnitte eine parallele Lage und deren Achsen eine entgegen gesetzte Richtung haben, wenn man damit die allen durchsichtigen Körpern eigenthümliche Eigenschaft verbindet, daß in dem Falle, wenn die Richtung der zurückwerfenden Kraft parallel mit der Achse *c* der Lichttheilchen ist, die Zurückwerfung für einen bestimmten Winkel *null* wird. Ohne die Kenntniß dieser sonderbaren Eigenschaft der durchsichtigen Körper würde folglich der außerordentlichste Theil der Phänomene der doppelten Strahlenbrechung unerklärbar geblieben seyn.

Herr Malus geht in der Anwendung der Theorie, welche er vorträgt, in kein tieferes Detail

tail ein, und begnügt sich, nur noch hinzu zu fügen, daß durch sie eine Menge von Thatfachen, welche keine Aehnlichkeit mit einander zu haben schienen, und bei denen sich aus Mangel an Zusammenhang nichts messen zu lassen schien, zu einer gemeinschaftlichen Quelle zurück geführt werden.

Er unternimmt es nicht, die Ursache dieser allgemeinen Eigenschaft der repulsiven Kräfte, welche auf das Licht einwirken, anzugeben; er giebt bloß die Mittel an, die Phänomene unter einander in Verbindung zu bringen, sie durch Berechnung voraus zu sehen, und sie mit Genauigkeit zu messen. Eben so wenig will er dadurch, daß er die Gestalt der Lichttheilchen auf drei auf einander senkrechte Achsen (wie es die Achsen eines Octaëders seyn würden) bezieht, irgend etwas über die wahre Gestalt dieser Theilchen bestimmen; er stellt dieses bloß als ein Resultat des Calculs auf, auf den ihn die Analyse der von ihm beobachteten Phänomene geführt hat.