

Mann im Flutlicht, eine optische Untersuchung der Aura (Teil II)

Dieser zweite Text folgt: "Der Mensch im Betrachter, eine optische Untersuchung der Aura, Teil I". Wir gehen davon aus, dass der Leser oder die Leserin mit den dort erläuterten optischen Konzepten hinreichend vertraut ist. Für diejenigen, die diese Experimente nachvollziehen wollen, und möglicherweise auch für diejenigen, die sie auf der optischen Bank selbst nachstellen wollen, möchte ich hier ins Detail gehen.

Das Experiment von Michelson und Morley aus dem Jahr 1887 nimmt in diesem Text einen wichtigen Platz ein. Sie versuchte dann zu zeigen, dass es im Universum keine Notwendigkeit gibt, die Existenz einer gleichmäßig verteilten feinen Substanz namens "Äther" anzunehmen. In leicht abgewandelter Form, die wir hier vorstellen, und mit einer Genauigkeit, die damals vielleicht noch nicht möglich war, zeigt sich jedoch, dass dieses Experiment tatsächlich die Existenz einer extrem feinen Substanz beweist, wenn auch auf ungleichmäßige Weise. Und das scheint uns eine merkwürdige Wendung des Schicksals zu sein: Dasselbe Experiment führt zunächst zu einer Falsifikation und 125 Jahre später in leicht veränderter Form zu einer Verifikation. All dies und noch mehr wollen wir im Folgenden ausführlich erläutern.

Zu fast allen Zeiten und in vielen Kulturen hört man Zeugnisse von Menschen, die behaupten, dass wir nicht nur einen biologischen Körper haben, sondern auch eine Reihe von feinstofflichen Körpern, die so genannte "Aura", besitzen. In der zeitgenössischen westlichen Philosophie wird das Thema kaum noch diskutiert. Auch die gegenwärtige Naturwissenschaft ist - gelinde gesagt - nicht sonderlich an diesem Thema interessiert, und die Forschung in diesem Bereich ist nicht gerade üppig. Es ist verständlich, dass man nicht nach etwas sucht, dessen Existenz geleugnet wird. Und doch war es eines der wichtigsten Themen bei den Begründern unserer Philosophie, den antiken griechischen Denkern. Selbst im Christentum - der zweiten Säule unserer westlichen Zivilisation - ist der Glaube an die Existenz einer feinen Substanz nie weit entfernt. Ende des 19. Jahrhunderts schien das Thema für kurze Zeit wieder in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses zu rücken, und dies inmitten der Kontroversen, die damals um das berühmte "Michelson- und Morley-Experiment" entbrannten. Grund genug, sich das genauer anzuschauen.

1. Das Experiment von Michelson und Morley..

Jeder hat schon einmal die Erfahrung gemacht, in einem stehenden Zug neben einem zweiten Zug zu sitzen. Dann war bei der sanften Abfahrt eines Zuges nicht sofort klar, ob es sich um den eigenen oder den anderen Zug handelte, und es dauerte einige Zeit, bis man einen festen Orientierungspunkt wie den Bahnhof oder den Bahnsteig selbst gefunden hatte. Wenn man weiter darüber nachdenkt, scheint es alles andere als einfach zu sein, einen solchen festen Orientierungspunkt zu finden, egal wo. Die Erde dreht sich um ihre Achse und um die Sonne, die ihrerseits Teil einer rotierenden Galaxie ist, und alle gehören ebenfalls zu einem expandierenden Universum. Gibt es also irgendwo im Raum einen festen Punkt?

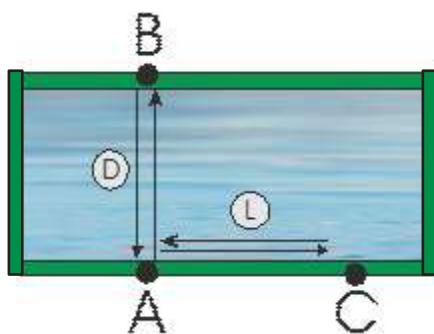
In seiner *Philosophia Naturalis* (1687) übernahm Isaac Newton die Konzepte der absoluten Zeit und des absoluten Raums. Er ging davon aus, dass die Zeit gleichmäßig vergeht, völlig unabhängig von allem anderen. Und der Raum war auch eine Art fester Maßstab, der es ermöglichte, die richtige Position jedes Objekts im Universum zu bestimmen. Etwas im Raum spielte die Rolle eines festen Koordinatensystems und sorgte dafür, dass Ort und Bewegung absolut festgelegt werden konnten. Zu seiner Zeit war dies kein unmittelbares Problem für den Durchschnittsbürger.

Die fortschreitende Wissenschaft hat hier eine Schwierigkeit gesehen. Wenn alle Bewegungen nur Bewegungen relativ zu etwas anderem sind, gibt es dann so etwas wie einen festen Bezugspunkt im Raum, oder ruht die gesamte Himmelsmechanik auf Treibsand?

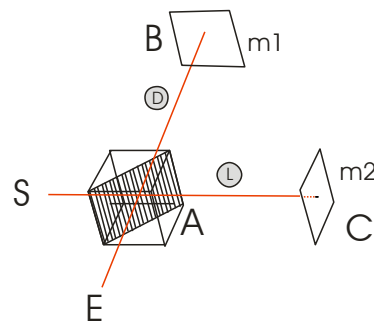
Die Wellen, die sich im Wasser bewegen, haben dieses Wasser als Medium, und der Schall nutzt die Luft, um sich auszubreiten. Es scheint also gar nicht so weit hergeholt zu sein, anzunehmen, dass das Licht der Sonne und der Sterne, das die Erde erreicht, durch ein Medium geleitet wird. Und so begrüßte die Physik ein hypothetisches Medium, eine extrem feine Zwischensubstanz namens "Äther", die den gesamten Raum gleichmäßig ausfüllt und die ebenfalls als Maßstab für absolute Messungen von Zeit und Raum dienen könnte. Die Frage war, ob und wie seine Existenz experimentell nachgewiesen werden kann. Ein solches Experiment wurde 1887 von Michelson und Morley - im Folgenden als "M&M-Experiment" abgekürzt - mit einem auf der Interferenz von Licht basierenden Gerät durchgeführt.

Klären Sie unten. Die Zeichnung links (1a) stellt ein stehendes Gewässer, z. B. ein Schwimmbad, mit den Punkten A, B und C an den Rändern dar, so dass der Abstand AB gleich AC ist. D und L sind zwei Schwimmer, die gleich schnell schwimmen. D durchquert das Becken von A nach B und zurück, L schwimmt der Länge nach von A nach C und zurück. Es ist daher offensichtlich, dass beide gleichzeitig zum Punkt A zurückkehren.

Betrachten Sie nun die Zeichnung auf der rechten Seite (1b). Es handelt sich um eine schematische Darstellung des Geräts, eines so genannten "Interferometers", mit dem das M&M-Experiment durchgeführt wurde. Hier ist S ("S" von Source) eine Lichtquelle, die einen Strahlteiler BS beleuchtet, einen Würfel mit einem halbdurchlässigen Spiegel in der Diagonale, dessen Zentrum A ist. Die Figuren m1 und m2 (zweimal das kleine "m" von Spiegel) sind zwei Planspiegel. Sie sind so angeordnet, dass der Abstand AB gleich dem Abstand AC ist.



1a

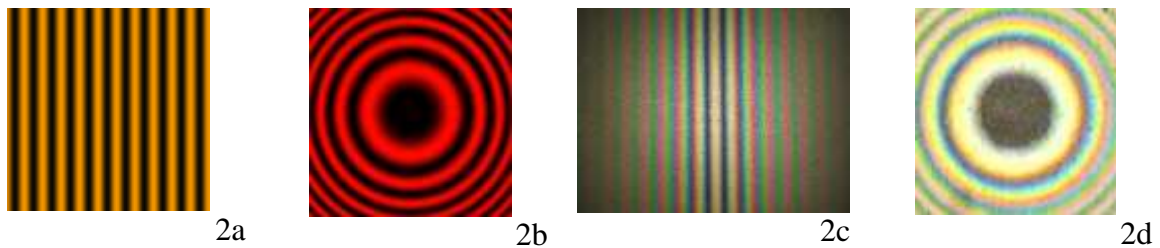


1b

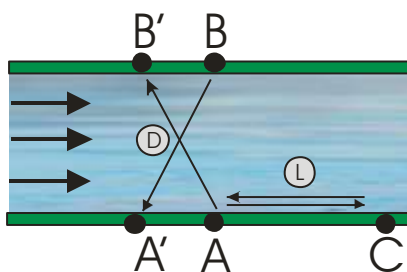
Das Licht von S teilt sich in der Mitte von Bs, wir nennen diesen Punkt A. Ein Teilstrahl geht nach B, reflektiert zurück nach A und erreicht den Beobachter in E. Der andere Teilstrahl geht nach C, reflektiert zurück nach A und erreicht ebenfalls E. Die Analogie zwischen den beiden Diagrammen ist in 1a und 1b zu sehen. Wenn (in 1b) die beiden Teilstrahlen einen gemeinsamen Weg AE zurücklegen, kann man ein Interferenzbild erwarten.

Wenn man mit monochromatischem Licht arbeitet, sieht man tatsächlich eine Reihe von parallelen hellen und dunklen Streifen oder Kreisen. Wenn man mit weißem Licht arbeitet, werden diese die Farben des Regenbogens haben. Wir haben das Internet durchsucht und die in 2a bis 2c gezeigten Bilder gefunden, die Ergebnisse des M&M-Experiments sind. Bild 2d ist es nicht. Es handelt sich um ein Bild von einigen Newton-Ringen. Vielleicht haben wir schlecht gesucht, aber wir haben keine farbigen Kreise als Ergebnis eines M&M-Experiments gefunden. Vielleicht können sie gefunden werden. Wenn dies der Fall ist, werden sie der Abbildung 2d

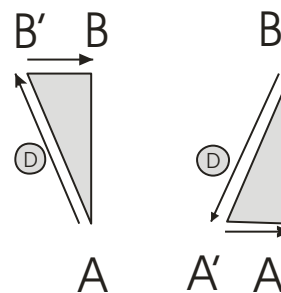
sehr ähnlich sein. Auf die Bildung solcher Linien und Kreise werden wir später im Text noch ausführlich zurückkommen.



Zurück zum Pool. Wir ersetzen ihn durch einen Fluss mit fließendem Wasser (3a). Nun ist es keineswegs sicher, ob die beiden Schwimmer D und L nach dem Schwimmen gemeinsam in A ankommen. Denn angenommen, das Wasser fließt in der Richtung von A nach C recht schnell, wird Schwimmer L zwar einen fulminanten Start hinlegen, aber in C angekommen, wird er sehr viel mühsamer gegen die Strömung schwimmen. Er wird mehr Zeit verlieren als Schwimmer D, um wieder nach A zu gelangen.



3a



3b

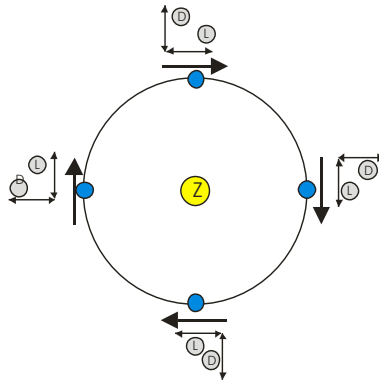
Dies lässt sich auf einfache Weise anhand des Satzes von Pythagoras (3b) demonstrieren. Wenn es eine Strömung gibt, muss D kontinuierlich von A in die Richtung B', links von B, schwimmen, um B zu erreichen. Dann hat er aber eine Strecke zurückgelegt, die der Hypotenuse (AB') des rechtwinkligen Dreiecks AB'B entspricht.

Wenn D dann von B nach A zurückschwimmen will, muss er die Richtung nach A' beibehalten, also nach links von A. Dann hat er eine Strecke zurückgelegt, die der schrägen Seite (BA') des rechtwinkligen Dreiecks ABA' entspricht. In beiden Fällen ist dieser Abstand größer als die direkte Kreuzung AB oder BA.

Schwimmer L wiederum hat zunächst die Geschwindigkeit des fließenden Wassers auf seiner Seite, aber bei seiner Rückkehr von C nach A hat er sie gegen sich. Ein Zahlenbeispiel zeigt, dass Schwimmer L dann länger braucht als Schwimmer D.

Betrachten Sie diese letzte Tatsache, aber jetzt in dem Interferometer, wie in Zeichnung 1b dargestellt. Die beiden Lichtstrahlen D und L brechen durch den statischen Äther. Da die Erde jedoch niemals ruht, behält das Interferometer, das sich irgendwo auf der Erde befindet, nicht immer die gleiche Position in Bezug auf den Äther.

Schauen wir uns die Zeichnung 4 an. Wenn tatsächlich der gesamte Raum mit einer solchen statischen und gleichmäßig verteilten Zentralsubstanz gefüllt ist, dann wird die Erde (der blaue Kreis), unter anderem aufgrund ihrer Bewegung um die Sonne (der gelbe Kreis), diese Zentralsubstanz im Laufe eines Jahres in einer immer wieder wechselnden Richtung spalten.



4

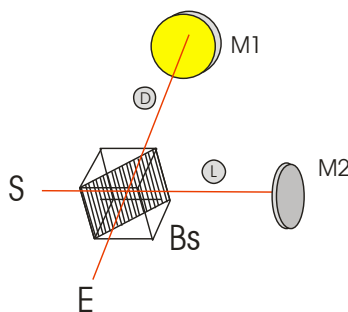
Mit dem Wechsel der Jahreszeiten bewegt sich die Erde durch diese Substanz manchmal in Querrichtung, manchmal in Längsrichtung. Aber dann werden die beiden Lichtstrahlen nicht immer gemeinsam in A ankommen, genauso wenig wie unsere Schwimmer D und L.

Im M&M-Experiment wurde erwartet, dass sich dieser Zeitunterschied durch ein verändertes Interferenzbild bemerkbar machen würde. Bei sorgfältiger und effektiver Durchführung stellte sich jedoch heraus, dass die Lichtstrahlen D und L immer gemeinsam in A ankamen, und zwar unabhängig von der Position des Interferometers in Bezug auf das angenommene Zentrum. Dieses Ergebnis, das wiederholt beobachtete unveränderte Interferenzbild, veranlasste Einstein zu der Schlussfolgerung, dass es nicht möglich ist, eine gleichförmige Bewegung relativ zum Äther festzustellen. Und wenn seine Existenz an sich auch nicht bewiesen werden kann, scheint es auch sinnlos zu behaupten, dass sich die Erde und die Himmelskörper durch ihn bewegen. So viel zur Beschreibung dieses berühmten Experiments und seiner wissenschaftlichen Interpretation.

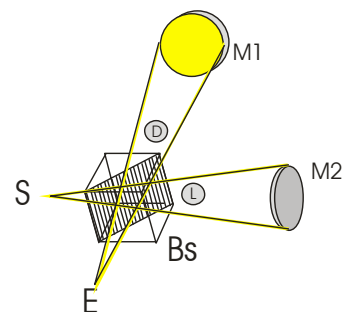
2. Man sucht etwas, und man findet etwas anderes.

Vor Jahren haben wir etwas naiv und übermütig versucht, dieses M&M-Experiment zu wiederholen - oder besser gesagt, eine selbst erdachte Variante davon. Wir haben keine flachen Spiegel verwendet, sondern zwei Hohlspiegel M1 und M2 (das große 'M' von Mirror). Wir haben alles mit einem Laser (5a) ausgerichtet und sorgfältig darauf geachtet, dass das gesamte Laserlicht schön in einer Ebene liegt.

Danach (Zeichnung 5b) haben wir den Laser durch eine weiße Punktlichtquelle, eine Glasfaser mit einem Durchmesser von 0,3 mm, ersetzt. Hier divergieren beide Lichtstrahlen von S und Bs zu den beiden Spiegeln M1 und M2 und konvergieren nach der Reflexion wieder zu E.



5a

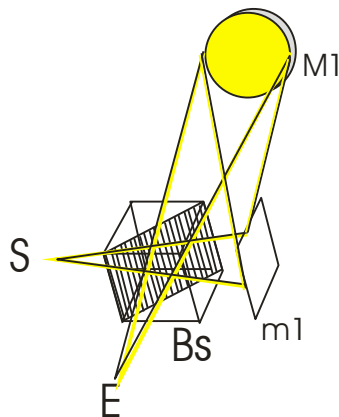


5b

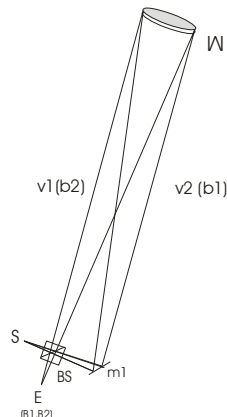
Als der Aufbau fertig war, suchten wir in E etwas ungeduldig nach dem Interferenzbild, das sich bilden sollte. Wie sich herausstellte, gab es nicht die geringste Spur einer auch nur

ansatzweise vorhandenen Störung. Frustration auf allen Seiten. Der Grund? Für einen Amateur ist es schlichtweg unmöglich, die Spiegel M1 und M2 in gleichem Abstand von Bs zu platzieren, und zwar bis auf eine Komponente von wenigen Lichtwellen. Aber das war uns damals überhaupt nicht bewusst.

Aus einer Art Unzufriedenheit heraus, einfach so, weil wir nicht davon ausgehen wollten, dass wir mit unserem Aufbau gar nichts erreicht haben, haben wir dann den Hohlspiegel M2 durch den kleineren Planspiegel m1 ersetzt (6a). Dieser musste dann aber aufgrund der Divergenz des Strahls viel näher an Bs liegen. In Zeichnung 6b sind die Proportionen etwas realistischer. Der Spiegel M ist in der Tat etwa 2500 mm (der Krümmungsmittelpunktsabstand k) vom Splitter Bs entfernt.



6a

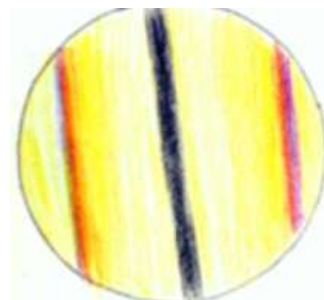


6b

Das Bild, das sich daraufhin in E formte, versetzte uns in völliges Erstaunen. Wir sahen zwei Spiegelflächen - eine Spiegelfläche von jedem Lichtweg -, die fast zusammenfielen, wobei sich Interferenzlinien zu bilden begannen (7a). Wenn wir den Spiegel m1 leicht verstellen, werden die Linien plötzlich viel breiter (7b). Wenn wir die Position von m1 erneut ändern, sehen wir, dass die Spiegeloberfläche mit einigen konzentrischen Kreisen in den Farben des Regenbogens gefüllt ist (7c). Vergleicht man diese recht breiten Linien und Kreise mit den Ergebnissen (2a bis 2d) des M&M-Experiments, so wird deutlich, dass wir fast zufällig tatsächlich auf etwas Ungewöhnliches gestoßen sind.



7a



7b

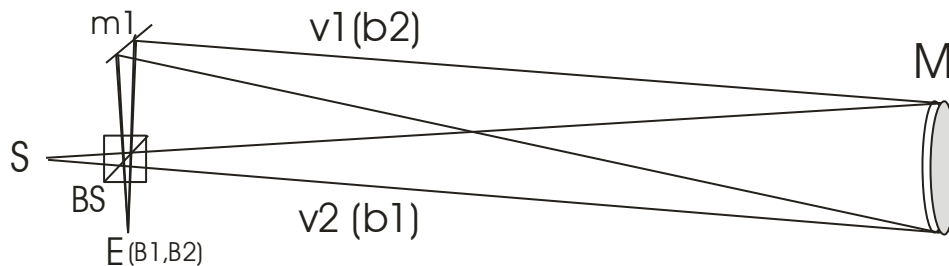


7c

Und wir hatten keine Erklärung dafür. Wenn man nicht weiß, wonach man sucht, weiß man auch nicht, was man findet. Es ist also an der Zeit, sich ernsthaft und detailliert über all dies zu informieren. Das war der Beginn einer faszinierenden Suche, die uns schließlich zu verstehen gab, was vor sich ging. Mehr noch, es hat uns erlaubt, eine Reihe anderer Experimente zu denken und vorzuschlagen, von denen einige tatsächlich durchgeführt wurden... und davon handelt dieser Text.

3. Unser Grundaufbau: eine Art Radialinterferometer.

Wie bereits erwähnt, wird das Licht in einem Interferometer in zwei Teilstrahlen aufgespalten, die sich dann wieder vereinigen und unter genau definierten Bedingungen zu Interferenzen, also zu Farbverschiebungen, führen können. Im Folgenden beschreiben wir eine Art Radialinterferometer. Wir erhalten:



8

S = Quelle, Punktlichtquelle, weißes Licht.

M = Spiegel, (Großbuchstabe) Konkavspiegel, 155 mm Durchmesser, $f = \pm 1250$ mm

m = Spiegel, kleiner flacher Spiegel, mit reflektierender Schicht auf der Oberseite

BS = Beamsplitter-Würfel für sichtbares Licht, 50/50, 20 mm³.

E = Auge, Ort des Beobachters

v = (Kleinbuchstaben) Objektastand

b = (klein geschrieben) Bildastand

B = (Großbuchstabe) Bildpunkt

K (Großbuchstabe) = Mittelpunkt der Krümmung

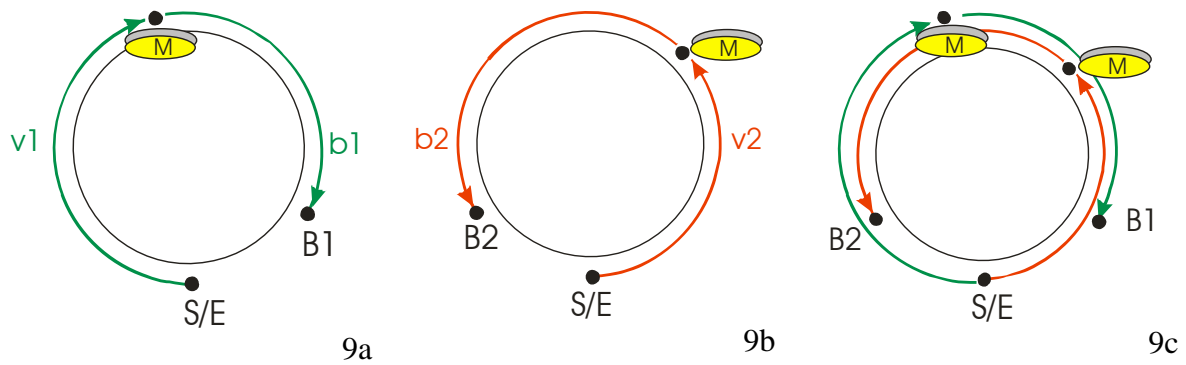
k (Kleinbuchstaben) = Abstand des Krümmungsmittelpunkts

Nennen Sie diese Regelung die "Grundregelung".

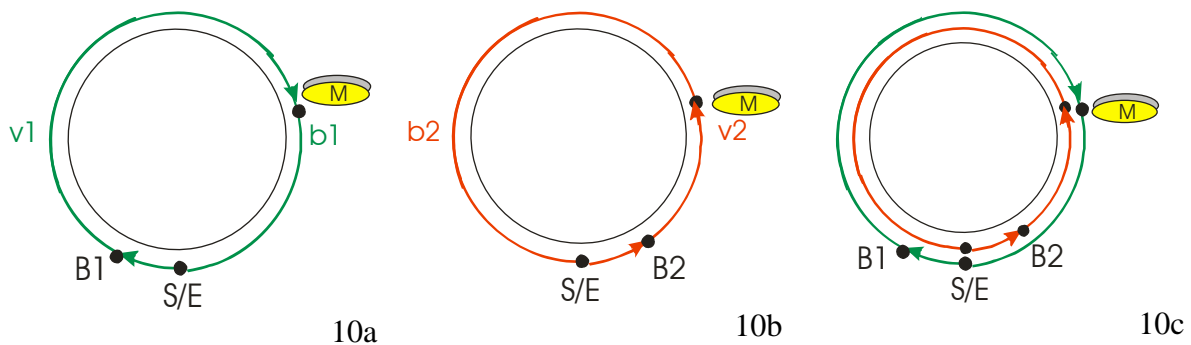
Wir haben (Zeichnung 8): v1, der Objektastand im Uhrzeigersinn. Dieses geht von S über BS und m1 divergierend nach M und reflektiert als Bildstrecke b1, konvergierend über Bs zum Punkt B1, vor dem Auge des Beobachters E. Der Teil des Lichts, der nach S geht, geht verloren.

Außerdem haben wir: v2, die Objektdistanz gegen den Uhrzeigersinn, die von S über BS direkt nach M divergiert und als Bilddistanz b2 reflektiert wird und über m1 und Bs zum Punkt B2 vor dem Auge des Beobachters E konvergiert. Theoretisch können die Punkte B1 und B2 in E zusammenfallen, aber auch direkt nebeneinander oder hintereinander liegen.

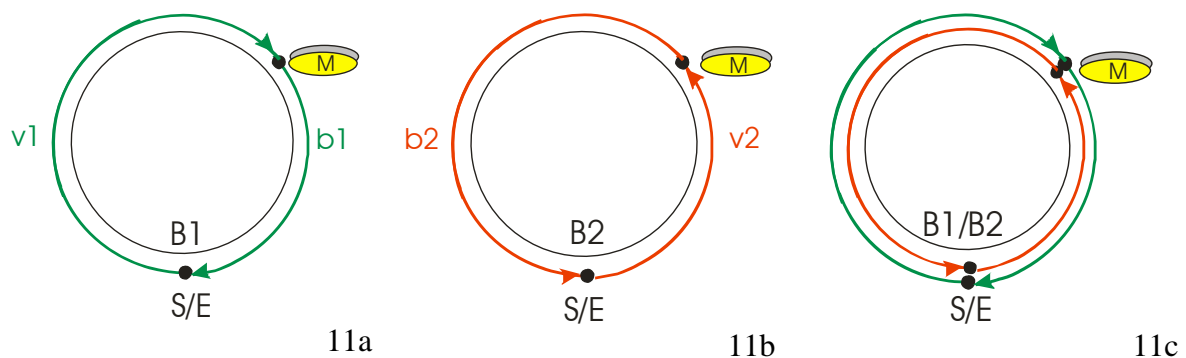
Lassen Sie uns versuchen, dies schematisch zu erklären. In Zeichnung 9a sehen wir unten die Lichtquelle S, von der der Lichtstrahl v1 im Uhrzeigersinn in Richtung des Spiegels M austritt, der dann als b1 zum Bildpunkt B1 reflektiert wird. Wir sehen jedoch, dass B1 den Punkt E nicht erreicht. Der gesamte Kreisumfang wurde nicht durchquert. In Zeichnung 9b sehen wir, wie v2 entgegen dem Uhrzeigersinn nach M gelangt und dann über b2 zum Bildpunkt B2 konvergiert. Auch hier stimmt der Bildpunkt B2 nicht mit E überein. Schließlich versucht Zeichnung 9c, die beiden Zeichnungen 9a und 9b zusammenzufassen. Wir sehen, dass die beiden Bildpunkte B1 und B2 nicht zusammenfallen und auch nicht den Punkt E erreichen.



Betrachten Sie nun die Zeichnung 10a. Das Licht beginnt von S aus im Uhrzeigersinn. Nach Divergenz und Konvergenz liegt der Bildpunkt B1 nun jenseits des Punktes E. Die zurückgelegte Strecke ist größer als der Umfang des Kreises. In Zeichnung 10b geht das Licht von S gegen den Uhrzeigersinn aus und der Bildpunkt fällt nach dem gesamten Umfang über E hinaus. Zeichnung 10c vereint die Zeichnungen 10a und 10b. Die Bildpunkte B1 und B2 treffen sich nicht und liegen außerhalb von E.



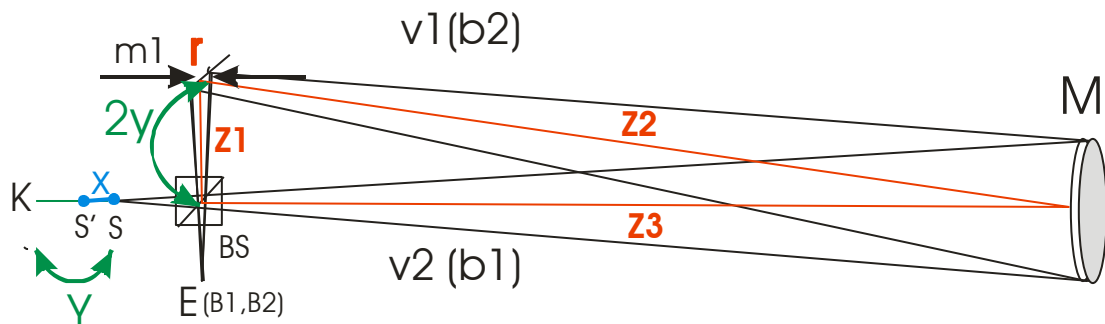
In Zeichnung 11a geht das Licht im Uhrzeigersinn divergierend nach M und konvergiert in B1. Dieser Punkt konvergiert zu E. Zeichnung 11b zeigt uns das Licht gegen den Uhrzeigersinn, wobei B2 ebenfalls zu E konvergiert. Zeichnung 11c fasst 11a und 11b zusammen. Beide Punkte, B1 und B2, fallen zusammen, und zwar in E.



Die folgende Erklärung ist ein Versuch, alle Abstände im Grundaufbau so zu wählen, dass die Bildpunkte B1 und B2 in E tatsächlich zusammenfallen, d.h. sie führen zu ungewöhnlichen Interferenzbildern für den Beobachter. Die Spanne, innerhalb derer sich die Störung zeigt, ist außergewöhnlich gering. Wenn zum Beispiel B1 und B2 nur einen halben Millimeter voneinander entfernt sind, liegen sie tausend (!) Wellenlängen auseinander, und in unserer Anordnung gibt es überhaupt keine Interferenz mehr.

Im Folgenden werden wir kurz auf die Mathematik eingehen. Ohne Berechnungen geht es einfach nicht. Hoffen wir, dass der Leser diese wenigen Zeilen schnell hinter sich lässt und dem Hauptthema des Textes leicht folgen kann.

Wir definieren also genauer. Was wir hier axiomatisch voranstellen, mag etwas ungewöhnlich erscheinen. Es handelt sich jedoch um sehr bewusste Entscheidungen und um das durchdachte Ergebnis einiger algebraischer Operationen. Diese Vorgänge selbst werden hier übersprungen. Wir beschränken uns auf die Ergebnisse. Wer sich dennoch dafür interessiert, findet sie am Ende des Textes. Ihre praktische Bedeutung wird jedoch schon bald deutlich werden. Veranschaulichen Sie dies mit Zeichnung 12.



12

Beachten Sie das rote Dreieck, das durch den Mittelpunkt von BS, m1, M und wiederum durch den Mittelpunkt von BS gebildet wird. Es handelt sich um ein rechtwinkliges Dreieck, wobei der rechte Winkel in BS liegt. Z1 und Z3 sind die Seiten des Rechtecks, Z2 ist die Hypotenuse und ist offensichtlich länger als Z3.

Der Abstand $2y$, der durch den grünen Bogen auf der linken Seite angezeigt wird, ist die Summe der Seite $z1$ plus die Differenz von $z2$ und $z3$. Kürzer; $2y = z1 - (z2 - z3)$.

Der Abstand vom Krümmungsmittelpunkt K zu S (der grüne Bogen unten) ist gleich einem Mal y .

Schließlich ist x , die Entfernung von S' zu S, durch die Formel $x = \sqrt{y^2 + f^2} - f$ gegeben.

Versuchen Sie mit all diesen Daten, die Objektabstände zu bestimmen. Wir bekommen:

$$v1 = 2*f - y + 2y + x \text{ oder } v1 = 2*f + y + x$$

$$v2 = 2*f - y + x$$

Über die Spiegelformel $1/f = 1/v + 1/b$ erhalten wir :

$$b1 = v1*f / (v1 - f) \quad b2 = v2*f / (v2 - f)$$

Veranschaulichen Sie, dass wir die folgenden Werte haben:

$f = 1250$, $y = 5$, $x = \sqrt{5^2 + 1250^2} - 1250$ oder $0,01$. Wir bekommen:

$$v1 = 2500 + 5 + 0,01 \text{ oder } 2505,01, \quad b1 = 2505,01 * 1250 / (2505,01 - 1250) \text{ oder } 2495,01$$

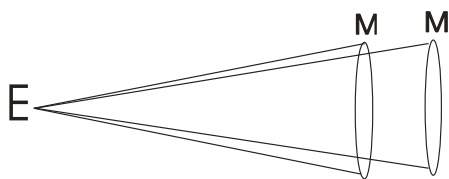
$$v2 = 2500 - 5 + 0,01 \text{ oder } 2495,01, \quad b2 = 2495,01 * 1250 / (2495,01 - 1250) \text{ oder } 2505,01$$

Wir sehen, dass bei diesen Werten $v1 = b2$ und auch $v2 = b1$ ist. Wie wichtig das ist, wird sofort klar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass $v2 - b1 = 0$, aber auch $v1 - b2 = 0$ ist. Das

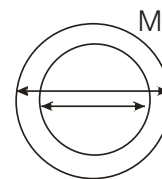
bedeutet, dass für den Beobachter in E die Bildpunkte B1 und B2 theoretisch genau zusammenfallen. Es ist die Situation, wie sie in Zeichnung 10c erläutert wurde.

Wenn wir die Berechnung für einen anderen Wert wiederholen, z. B. $y = 10$, und uns an die Formel $x = \sqrt{y^2 + f^2} - f$ halten, stellen wir immer fest, dass B1 und B2 übereinstimmen. Mit anderen Worten: Mit unserem Aufbau können wir theoretisch zwei kohärente Lichtpunkte exakt zur Deckung bringen.

In unserem Grundaufbau ist der Lichtweg b2 länger als der Lichtweg b1. Das Licht von M, das uns über b2 erreicht, hat einen längeren Weg zurückgelegt als das Licht von M, das uns über b1 erreicht. Für das Auge ist der Spiegel M im ersten Fall also weiter entfernt als im zweiten Fall. Dies veranschaulicht uns Zeichnung 13a.



13a



13b

Mit den angegebenen Werten beträgt diese gegenseitige Abstandsdifferenz 2505,01 - 2495,01 oder 10 mm. Aus E geht hervor, dass die Spiegelfläche, die wir durch den einen Lichtweg sehen, eine etwas andere Größe hat als die Spiegelfläche, die wir durch den anderen Weg sehen. Genau aus diesem Grund handelt es sich um ein Radialinterferometer. Dies zeigt uns, stark übertrieben, Zeichnung 13b.

Bauen Sie dieses Interferometer und stellen Sie es so fein ein, dass fast die gesamte Spiegelfläche mit einer Interferometerfarbe gefüllt ist. Als nächstes bringen wir die Hand in den Lichtweg. Wir sehen Bilder wie unten dargestellt (14a, 14b, 14c). Die Hand erwärmt die umgebende Luft, und diese Turbulenzen stellen ein Hindernis für das Licht dar, so dass es sich auffächert. Letzteres führt zu Farbverschiebungen. Wir sehen Fetzen warmer Luft, die ständig nach oben steigen. Das Ganze ist sehr dynamisch und bietet uns ein faszinierendes Spektakel.



14a



14b



14c

Wir haben versucht, diese Bilder digital zu erfassen. Unsere Punktlichtquelle hat jedoch nur einen Durchmesser von 0,3 mm, also den Durchmesser einer Akupunkturnadel, und ist sehr schwach. Bei einigen Versuchen, trotzdem Fotos zu machen, sind die Bilder so klein und lichtschwach, dass sie bei digitaler Vergrößerung nur eine Ansammlung von übermäßig unscharfen Pixeln zeigen. Wir ziehen es daher vor, uns in diesem Text an eine realitätsnahe Darstellung in Zeichnungen zu halten.

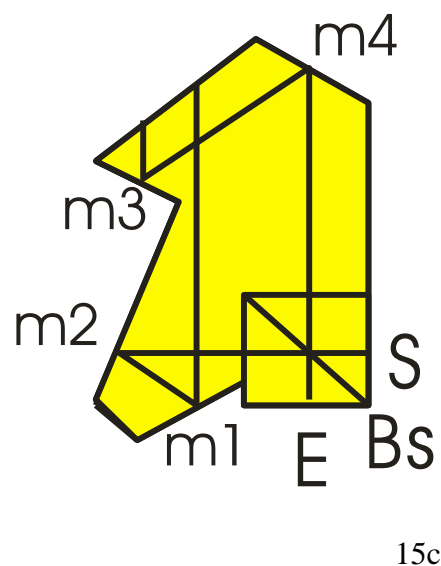
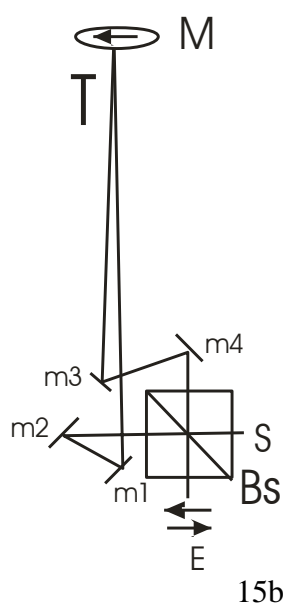
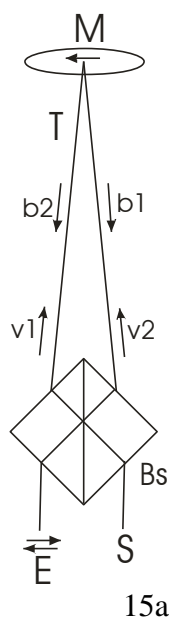
Betrachtet man unser Interferometer, so wird deutlich, dass die Radialität mit abnehmendem Längenunterschied zwischen den beiden Teilstrahlen abnimmt. Dadurch können wir unsere Interferenzbänder breiter gestalten. Unser System wird dann noch empfindlicher sein. Es gibt jedoch eine Grenze. Der flache Spiegel m_1 (siehe Abb. 12) kann nicht in B_s eingeklemmt werden. Der kleinste Abstand, den wir für $2y$ erreichten, betrug 7 mm. Dieser Pfadunterschied kann jedoch auf andere Weise beseitigt werden. Das wollen wir gleich erklären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir eine Art Radialinterferometer beschrieben und berechnet haben. Diese ist radial, denn vom Beobachter E aus gesehen, haben die beiden Bilder von M nicht die gleiche Größe, nicht den gleichen Durchmesser. Allerdings liegen die Bildpunkte B_1 und B_2 viel näher beieinander, als man es z. B. in Youngs bekanntem Doppelspaltexperiment für möglich hält. Auf diese Weise lassen sich auf relativ einfache Weise wesentlich breitere Interferenzbilder erzielen. Unser Instrument ist so empfindlich, dass es die aufsteigende Luft, die durch die Wärme unserer Hand entsteht, in vielen wechselnden Interferenzfarben zeigt.

4. Eine Umkehrung der Situation

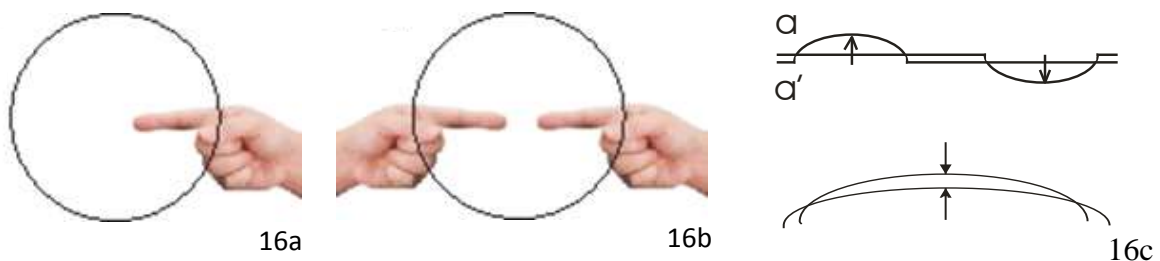
Eine Art von Umkehrinterferometer wurde bereits im ersten Text erwähnt. Darauf werden wir hier näher eingehen. Der Aufbau im Bild unten links (15a) zeigt uns eine Umkehrung mit einem B_s , wie sie in der Literatur beschrieben wird. Es ist uns nicht gelungen, damit eine breite Interferenz zu erzeugen. Die Strahlen fallen bereits zu schräg auf B_s , was zu vertikalen Interferenzlinien führt, nicht zu einer Spiegelfläche in einer einzigen Interferenzfarbe.

Daher haben wir dieses Problem mit dem in der mittleren Abbildung (15b) gezeigten Aufbau umgangen. Um die verschiedenen Lichtpfade so ähnlich wie möglich zu gestalten, haben wir eine Karte (15c), einen Ausschnitt aus Zeichnung 15b, verwendet, bei der die beiden Lichtpfade fast gleich lang sind, mit einem Unterschied von weniger als 1 mm. Die Spiegel m_1 bis m_4 konnten so sehr genau an der richtigen Stelle platziert werden.



Die Justierung aller Teile in 15b mit dem Laser erfordert große Präzision. Das gesamte Laserlicht muss sich nämlich in derselben Ebene befinden. Mit Hilfe einiger flacher Hilfsspiegel und eines transparenten Kunststoffstücks haben wir überprüft, ob sich die einzelnen Laserstrahlen tatsächlich kreuzen oder ob sie sich nicht nur in einem gegenseitigen Abstand kreuzen.

Bei diesem Umkehrinterferometer verschmilzt die eine Hälfte des Bildes (16a) mit dem Spiegelbild der anderen Hälfte (16b). Wenn wir mit der Hand nicht über die Mittellinie des Spiegels hinausgehen, interferiert eine gestörte Welle mit einer ungestörten. Stellen Sie sich die gestörte Welle durch einen Bogen und die ungestörte Welle durch eine horizontale Linie vor (16c oben). Ihre gegenseitige Differenz, die jeweils durch den Pfeil angezeigt wird, ist viel größer als bei einem Radialinterferometer. Das Instrument ist daher viel empfindlicher. Wir sehen eine viel intensivere Farbverschiebung. Man stellt also fest, dass in einem Radialinterferometer (16c unten) der Unterschied zwischen zwei Kurven kleiner ist als der Unterschied zwischen einer Kurve und einer Geraden.



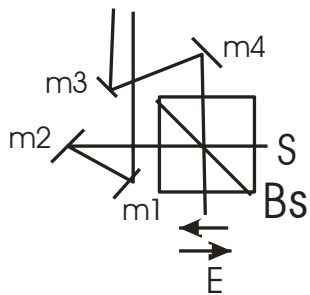
Legt man den Finger in den Lichtweg, so ergibt sich ein recht überraschendes Ergebnis (17). Wir haben dies bereits im ersten Text ausführlich beschrieben.



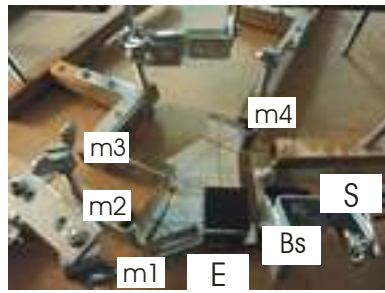
17

Das Bild ist jedoch nie statisch. Jede noch so kleine Erschütterung der optischen Bank führt dazu, dass die eine Hälfte des Bildes auf die andere Hälfte "entgegengesetzt" reagiert. Stellen Sie dies wie folgt klar. Wir halten beide Hände mit den Fingerspitzen zusammen, ohne sie loszulassen. Wenn wir eine Hand vorwärts oder rückwärts bewegen, folgt die andere gleichzeitig. So funktioniert es mit Schwingungen in einem gewöhnlichen Interferometer. Nicht so bei einem Umkehrinterferometer. Um bei dem Beispiel mit den Händen zu bleiben: Bei einer Erschütterung bewegt sich die eine Hand nach vorne, die andere aber um den gleichen Betrag nach hinten. Und da unsere optische Bank ständig vibriert - wir sprechen hier von extrem minimalen Bewegungen - ändert sich das Bild ständig und es ist nicht einfach, das Gezeigte in Ruhe zu betrachten. Sie bleiben buchstäblich "Schnappschüsse" eines äußerst dynamischen Ereignisses.

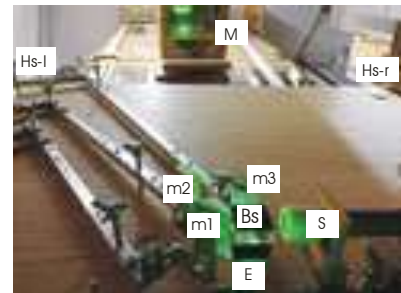
Die Zeichnung 18a zeigt ein Detail des Aufbaus aus 15b. Achten Sie in Abbildung 18b auf den aufrechten Spiegel m4. Darin sehen wir das Spiegelbild der auf der Karte eingezeichneten Linien. Wenn wir den Spiegel m4 so einstellen, dass wir die gezeichnete Linie und ihr Spiegelbild in einer Linie sehen, wissen wir, dass die Einstellung bereits recht genau ist. Wir achten darauf, dass das gesamte Laserlicht in der gleichen Ebene bleibt. Dies gilt natürlich für die Ausrichtung aller Spiegel. Foto 18c vermittelt einen Eindruck von der optischen Bank. Der Spiegel M befindet sich auf einem Wagen, der über einen Balken unter der optischen Bank mit Stellschrauben präzise näher oder weiter weg bewegt, oder besser gesagt "gefahren" werden kann.



18a



18b

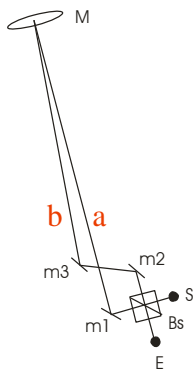


18c

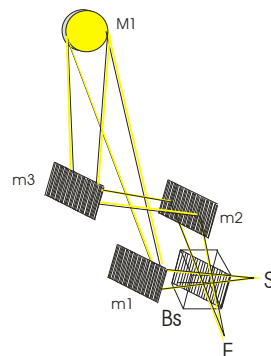
So viel zur Beschreibung dieses Umkehrinterferometers. Kommen wir nun zum nächsten Experiment.

5. Ein Aufbau mit Radialität = 0

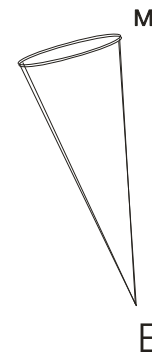
Versuchen wir nun, unsere Grundeinstellung empfindlicher zu machen, indem wir den Wegunterschied zwischen den beiden Teilstrahlen weiter verringern. Mit anderen Worten: Wir machen den Lichtweg a oder v1 und den Lichtweg b oder v2 gleich lang. Dazu fügen wir der Grundeinstellung die Planspiegel m2 und m3 hinzu. Dies ist in der Zeichnung (19a) zu sehen



19a



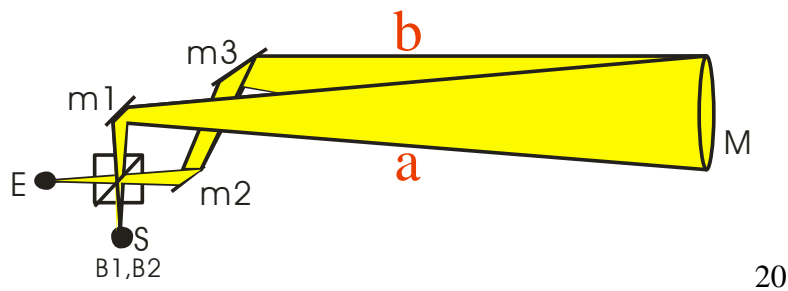
19b



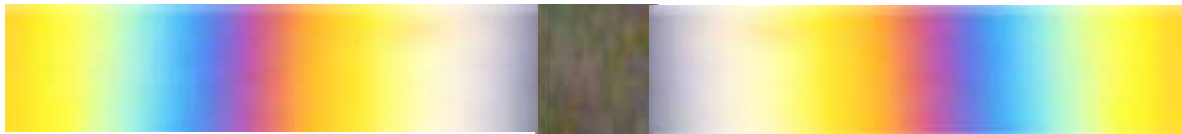
19c

Abbildung 19b zeigt, wie das Diagramm divergiert und konvergiert. Abbildung 19c zeigt, dass wir von E aus den Spiegel M in gleichen Abständen a und b sehen. Mit anderen Worten: Der Spiegel M wird von seinem Krümmungszentrum K aus beleuchtet. Somit werden v1, b1, v2 und b2 alle gleich lang. Anders ausgedrückt: In unserer Formel $x = \sqrt{y^2 + f^2} - f$ streben x und y nach 0 und die Bildpunkte B1 und B2 fallen in E zusammen. Folglich ist unser Aufbau kein Radialinterferometer mehr. Wir erhalten jedoch ein außerordentlich empfindliches Instrument, von dem wir erwarten, dass es sehr kleine Störungen im Lichtweg als Farbänderungen wiedergibt.

Bauen Sie also den Aufbau wie in Zeichnung 20 unten dargestellt.



Bei der Ausrichtung zeigt sich recht schnell ein schönes und breites Interferenzband. (21).



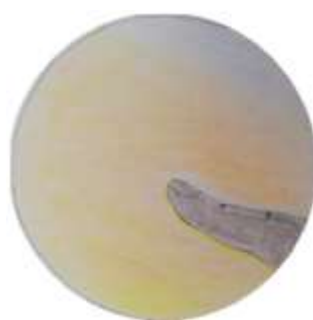
Bei extrem präziser Ausrichtung wird er schließlich so breit, dass er den Durchmesser unseres Spiegels um ein Vielfaches übersteigt. Wir können den Spiegel dann so einstellen, dass seine gesamte Oberfläche wahlweise jeweils mit einer einzigen Interferenzfarbe gefüllt wird. Dies wird im Folgenden dargestellt (22).



Wenn wir uns auf eine Hintergrundfarbe einstellen und die Hand im Lichtweg direkt vor dem Spiegel platzieren, sehen wir je nach gewählter Farbe, was darunter gezeichnet und gefärbt ist (23a, 23b, 23c). Wir bemerken keine heftigen Turbulenzen mehr, wie sie sich z. B. mit dem invertierten Interferometer (17) oder sogar mit den Bildern in unserem Grundaufbau (14a, 14b, 14c) zeigen. Nein, das Bild ist jetzt ziemlich statisch. Wir können in Ruhe weiter beobachten.



23a



23b



23c

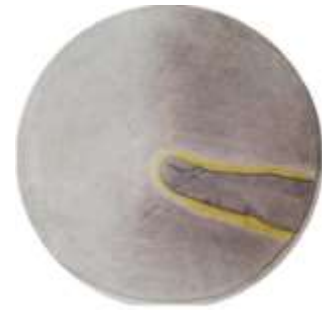
Schließlich stellen wir den Aufbau schrittweise auf destruktive Interferenz ein (24a) und bringen den Finger in den "Lichtweg" (24b, 24c).



24a



24b

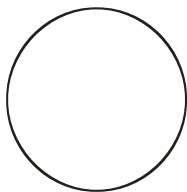


24c

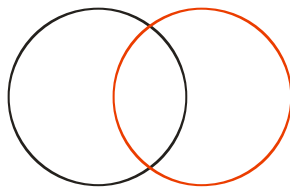
Wir sehen ein weiß-gelbes Band direkt um den Finger. Offensichtlich gibt es "etwas", eine feine Materie, die das so empfindlich Zerstörerische stört und möglicherweise an dieser Stelle die Interferenz sogar konstruktiv macht. Die Tatsache, dass dieses Band beim Hin- und Herbewegen des Fingers kurzzeitig zurückbleibt, deutet darauf hin, dass es sich um ein anderes Phänomen als die Beugung handelt.

6. Young und Newton: zwei Seiten desselben Ereignisses.

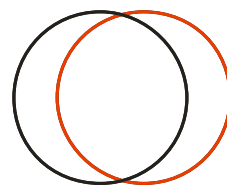
Schieben Sie nach und nach zwei Folien, auf denen ein Kreis aufgedruckt ist, übereinander. Wir erhalten (von 25b bis 25d) :



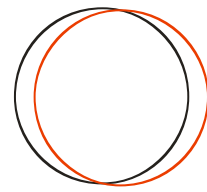
25a



25b



25c

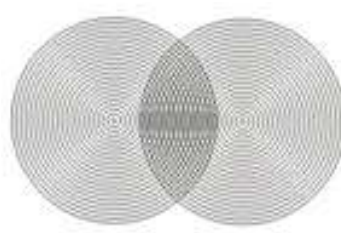


25d

Als Nächstes schieben wir nach und nach zwei Folien übereinander, auf denen jeweils eine Reihe von konzentrischen Kreisen aufgedruckt ist (26a). Genau definierte Muster beginnen sich zu bilden. Wir erhalten (von 26b bis 26d) :



26a



26b



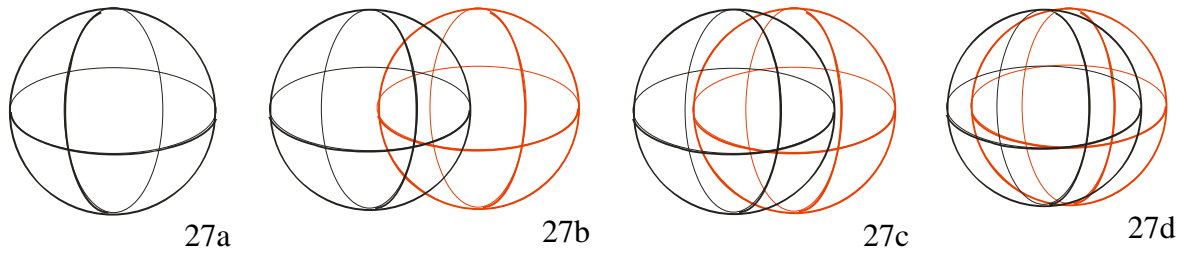
26c



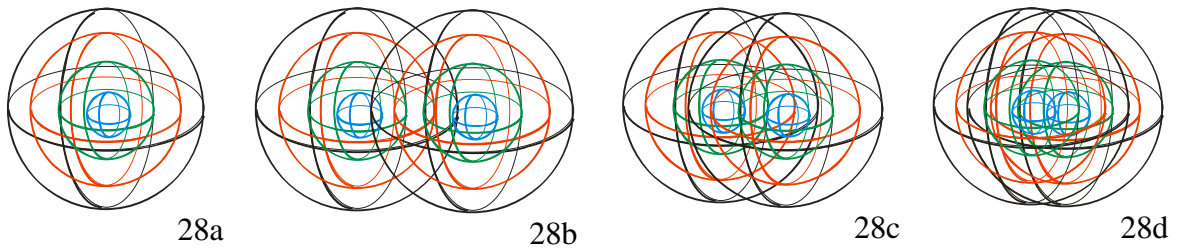
26d

Die dunklen Muster, die sich in Zeichnung 26d am deutlichsten abzeichnen, entstehen dadurch, dass sich zwei Kurven mit jeweils leicht unterschiedlichen Krümmungen berühren und sogar ein Stück ineinander zu fließen scheinen. Dadurch scheinen sie zusammen einen etwas dickeren Bogen zu bilden.

Stellen Sie sich nun vor, dass es sich nicht um Kreise handelt, die in einer flachen Ebene liegen, sondern um Kugeln, die sowohl eine Länge und eine Breite als auch eine Höhe haben (27a). Stellen Sie sich vor, dass sie allmählich mehr und mehr ineinander gleiten. Wir erhalten (von 27b bis 27d) :



Als Nächstes stellen Sie sich vor, dass es sich jeweils um eine Gruppe von vier konzentrischen Kugeln handelt (28a). Diese beiden Sequenzen gehen allmählich ineinander über. Wir erhalten (von 28b bis 28d) :

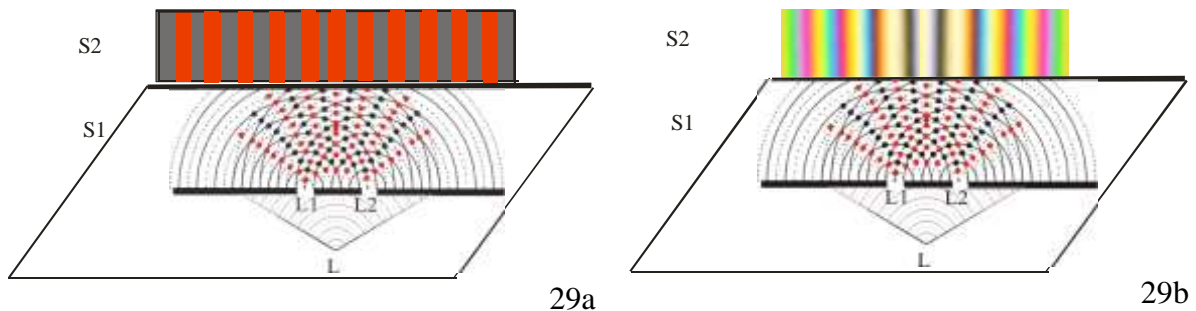


Das Papier- oder Digitalbild ist eine statische Darstellung davon. Aus Gründen der Übersichtlichkeit haben wir in den Zeichnungen 28a bis 28d Farben verwendet. Stellen Sie sich jedoch vor, dass die Lichtquellen eine Farbe haben: entweder monochromatisches Laserlicht oder weißes Licht. Letzteres ist eine Sammlung der Farben des Regenbogens.

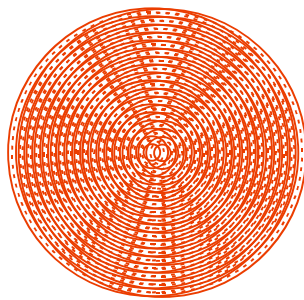
Stellen Sie sich vor, dass sich eine solche Reihe konzentrischer Kugeln (28a) kontinuierlich und gleichmäßig ausdehnt, offensichtlich mit Lichtgeschwindigkeit, und dass vom Zentrum aus ständig neue Kugeln entstehen. Wenn man sich das vor Augen hält, kann man sich ungefähr vorstellen, was mit einer punktförmigen Lichtquelle, z. B. einer feinen Glasfaser, passiert, die Licht in alle Richtungen abstrahlt.

Obwohl in unseren Zeichnungen (28a bis 28d) jeder Lichtpunkt immer noch nur 4 Wellen erzeugt, wird das Bild schon recht kompliziert.

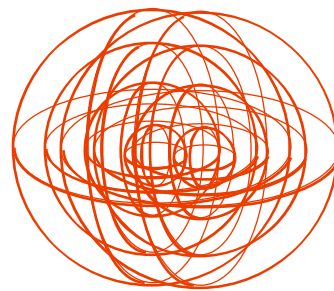
Im ersten Text haben wir das Young'sche Doppelspaltexperiment ausführlich besprochen, und zwar sowohl für monochromatisches Licht (z. B. rotes Laserlicht) als auch für weißes Licht. Erinnern Sie sich an die Zeichnungen 31 und 32 aus dem ersten Text, die wir hier noch einmal wiedergeben. Nun zu den Zeichnungen 29a und 29b.



Geben wir unten die Zeichnung 26d wieder, jetzt als Zeichnung 30a, finden wir daneben (in 30b) die Zeichnung 28d. Beide jedoch in roter Farbe.



30a



30b

Versuchen Sie nun, sich vorzustellen, dass die Zeichnung auf der linken Seite (30a) keine Darstellung von Kreisen in einer flachen Ebene ist, sondern eine räumliche Darstellung von zwei Gruppen konzentrischer Kugeln, die ineinander gequetscht sind. Würde man die Zeichnung 30b um so viele Kugeln ergänzen, wie in der Zeichnung 30a dargestellt sind, würde die Zeichnung 30b genauso aussehen wie 30a, einschließlich der ähnlichen Interferenzmuster.

Zur Erinnerung: Das Auge sieht die einzelnen Lichtwellen nicht. Es sieht ihre Einmischung. So wie in Zeichnung 26d die Muster entstehen, weil sich Teile zweier Kreise mit jeweils fast ähnlicher Krümmung berühren und etwas durchdringen, so auch hier. Nur handelt es sich jetzt nicht mehr um Kreise, sondern um Kugeln. Wo sich zwei Kugeln mit nahezu gleicher Krümmung berühren und durchdringen, sehen wir die gemeinsame Kugelschale an dieser Stelle.

Dies führte zu den roten und schwarzen Interferenzstreifen in Zeichnung 29a, die auf dem Bildschirm S2 zu sehen sind. Beachten Sie, dass die Punktlichtquellen L1 und L2 vom Beobachter L aus gesehen nebeneinander liegen.

Das ist jedoch nicht die einzige mögliche Sichtweise. Lichtpunkte können auch hintereinander liegen. Versuchen Sie, dies anhand der nachstehenden Zeichnung 31 zu verdeutlichen. Wir sehen zwei rote Lichtpunkte A und B, die jeweils eine Reihe von konzentrischen Kugeln erzeugen.

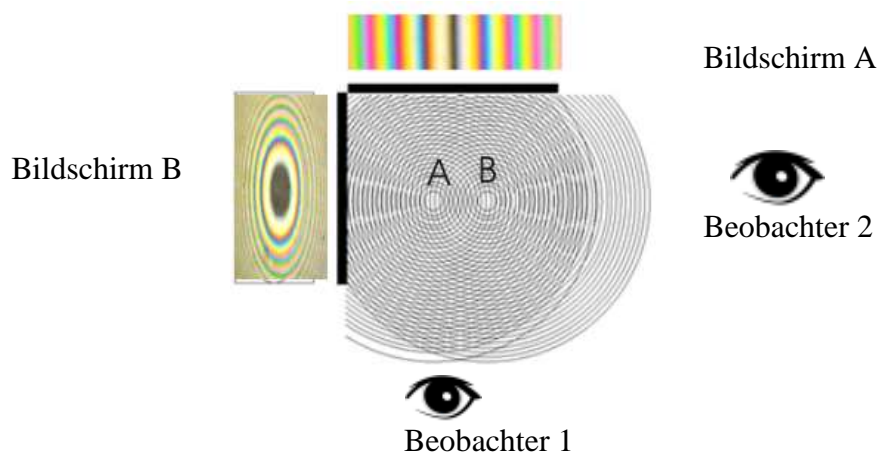


Für den Beobachter 1 (unten) liegen die Punkte A und B nebeneinander und erzeugen auf dem Bildschirm A (oben) eine Reihe paralleler roter und schwarzer Linien, Linien der konstruktiven und destruktiven Interferenz, wie das Young-Experiment gezeigt hat.

Für Beobachter 2 (rechts) liegen die Punkte A und B nicht nebeneinander, sondern hintereinander und erzeugen auf dem Bildschirm B (links) eine Reihe konzentrischer roter und schwarzer Kreise, Kreise der konstruktiven und destruktiven Interferenz, die bekannten Newtonschen Ringe. Newton entdeckte sie, konnte sie aber nicht erklären, da für ihn das Licht aus Teilchen und nicht aus Wellen bestand.

Zeichnung 31 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Young'schen Doppelspaltexperiment und den Newton'schen Ringen. Sie sind wie die beiden Seiten desselben Störereignisses. Wenn wir die beiden Punkte A und B nicht neben- oder untereinander platzieren, sondern etwas diagonal, würden sich auf einem Bildschirm, der zwischen den Bildschirmen A und B liegt, Kurven als Übergang zwischen Kreisen und Linien zeigen. Wir werden auf diese wichtige Unterscheidung, die Lage der Punkte A und B nebeneinander oder hintereinander, im weiteren Verlauf des Textes zurückkommen.

Wir haben oben im Wesentlichen über Licht einer Farbe gesprochen. Wir arbeiten jedoch mit weißem Licht. Auf unseren Bildschirmen sehen wir daher bunte Interferenzstreifen oder Kreise, wie in Zeichnung 32 dargestellt. Dies erklärt, warum uns gleich zu Beginn unserer Versuche (Zeichnungen 7a, 7b und 7c) einige Kreise und Linien gezeigt wurden, deren Bedeutung wir zunächst nicht verstanden.



32

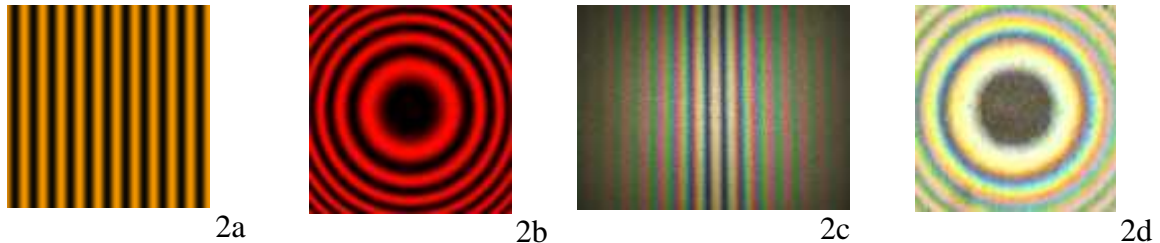
Soweit ein Wort zum Zusammenhang zwischen den Experimenten von Young und Newton, und zwar als zwei Seiten desselben Ereignisses.

7. Und was noch?

All dies führt nun zu einigen faszinierenden Überlegungen über das M&M-Experiment. Wir klären auf. Rufen Sie die Bilder 2a bis 2d auf. Wir wiederholen sie hier. Wie bereits erwähnt, zeigte das 1887 durchgeführte M&M-Experiment zum einen eine Reihe von vertikalen Interferenzlinien konstruktiver Interferenz, die mit Linien destruktiver Interferenz durchsetzt waren (Zeichnungen 2a und 2c). Und zum anderen eine Reihe von Interferenzkreisen mit konstruktiver Interferenz, die mit Kreisen mit destruktiver Interferenz durchsetzt sind

(Zeichnungen 2b und 2d). Die Abbildungen 2a und 2b zeigen Licht einer Farbe. Die Abbildungen 2c und 2d zeigen uns die Interferenz von weißem Licht.

Abbildung 2a zeigt uns Linien, keine breiten Streifen. In der Mitte von Bild 2c sehen wir eine schwarze Linie, nicht ein breites Band. In den Abbildungen 2b und 2d sehen wir in der Mitte einen Kreis der destruktiven Interferenz. Diese füllt jedoch nicht die gesamte Spiegelfläche aus.



Wenn man die Zeichnung 32 betrachtet, die uns den Zusammenhang zwischen dem Young'schen Experiment und den Newton'schen Ringen zeigt, kann man dann annehmen, dass die beiden Punkte B1 und B2 für den "Beobachter" in E "nicht wirklich zusammenfallen", sondern im Gegenteil, was die Linien betrifft, nebeneinander liegen? Und bei den Kreisen (2b und 2d) fallen die Bildpunkte B1 und B2 auch nicht zusammen, sondern liegen hintereinander. Andernfalls würde der dunkle Kreis die gesamte Spiegelfläche ausfüllen.

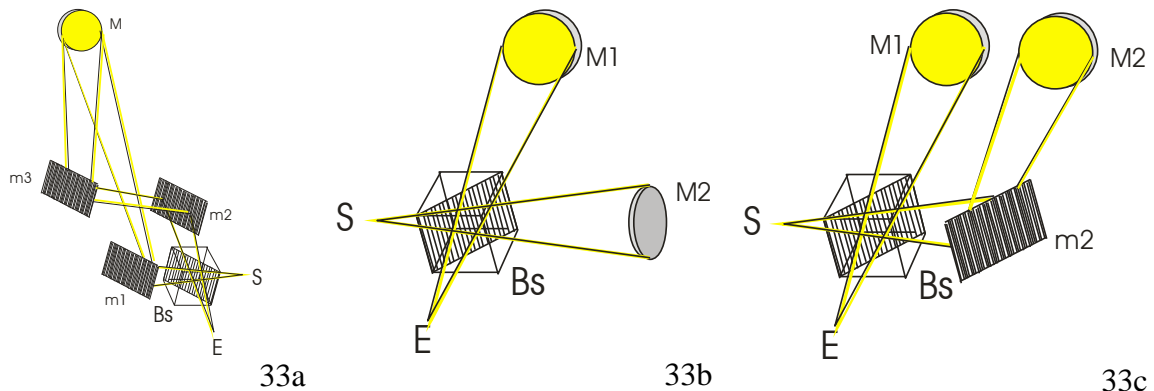
Dann kann man die Frage stellen, ob das M&M-Experiment mit unserer heutigen Technik so eingestellt werden kann, dass die beiden Bildpunkte in E nicht neben- oder hintereinander liegen, sondern (fast) zusammenfallen. Das zeigen zumindest Experimente mit der sogenannten "Nulling-Interferometrie" oder auch die Genauigkeit, mit der z.B. die 18 Segmente des James-Webb-Teleskops ausgerichtet sind. Wir klären auf.

„Nulling Interferometry“. Denken Sie an die Welt der Sterne. Die Frage, ob es anderswo im Universum andere Planeten wie unsere Erde gibt, ist in unserer Zeit sehr aktuell. Solche Planeten zu finden, ist jedoch nicht so einfach. Wenn sie zu weit von einem Stern entfernt sind, sind sie zu schwach. Wenn sie zu nahe sind, verhindert die blendende Lichtintensität dieses Himmelskörpers, dass der Planet beobachtet werden kann. Deshalb nutzt man unter anderem die destruktive Interferenz: Lichtstrahlen können sich unter bestimmten Bedingungen selbst auslöschen. Wir haben dies bereits erläutert. Das Licht von zwei eng beieinander stehenden und gleichwertigen Teleskopen, die auf denselben Stern ausgerichtet sind, kann vereinigt werden, allerdings mit einem Unterschied von einer halben Wellenlänge oder einem ungepaarten Vielfachen. So wird das Sternenlicht neutralisiert. Dies gilt jedoch nicht unbedingt für das Licht des Planeten, der sich in der Nähe dieses Sterns befindet. Das heißt, das Licht des Sterns wird abgeschwächt oder ausgelöscht, das des Planeten, der sich in einem anderen Abstand zu den Teleskopen befindet, jedoch nicht. Letzteres wird dadurch sichtbar.

Diese weitreichende Genauigkeit der Abstimmung finden wir auch beim *James-Webb-Teleskop*. Die 18 einzelnen sechseckigen Segmente des Hauptspiegels sind so aufeinander abgestimmt, dass das Licht dieser Segmente auf den Nanometer genau (1×10^{-9} m, also ein Millionstel Millimeter (!)) ausgerichtet werden kann.

Es stellt sich jedoch die Frage, wer heute ein viel präziser durchgeführtes M&M-Experiment braucht? Vielleicht niemand, zumindest nicht mit dem Flachspiegelsystem. Was aber, wenn dies mit sehr hoher Präzision wiederholt wird, nicht mit Laserlicht, sondern mit

weißem Licht, wie in der Anordnung mit einem Hohlspiegel und gleichem Lichtweg (33a) oder mit zwei Hohlspiegeln (33b oder 33c) gezeigt.



Und was, wenn man auch hier eine destruktive Interferenz erreicht und dann die Hand in den Lichtweg bringt? Oder denken wir weiter. Was ist, wenn größere Spiegel verwendet werden? Was wird sich dann vom Menschen zeigen? Diese Fragen bleiben bis auf weiteres besonders spannend.

Schauen wir uns die Zeichnung 33b an. Wird z. B. die Hand vor einen der Spiegel M1 oder M2 gebracht, so mischen sich in E ein verzerrtes und ein ungestörtes Bild. Wir selbst haben etwas Ähnliches mit dem Umkehr-Setup (34) erreicht, das wir bereits in Punkt 4 (und Zeichnung 17) besprochen haben.



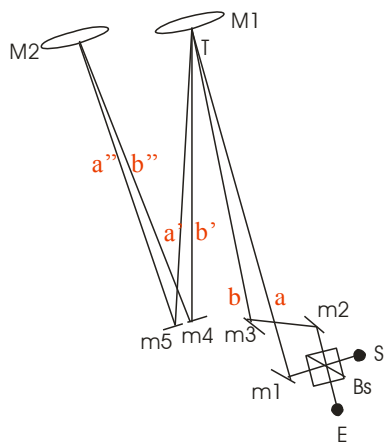
34

Wie bereits erwähnt, vermischt sich bei dieser Art von Interferometer die eine Hälfte des Bildes mit dem Spiegelbild der anderen Hälfte. Wenn wir mit der Hand nicht über die Mittellinie des Spiegels hinausgehen, interferiert eine gestörte Welle mit einer ungestörten. Dies führt zu sehr heftigen Turbulenzen und einem instabilen Bild, das ständig vibriert.

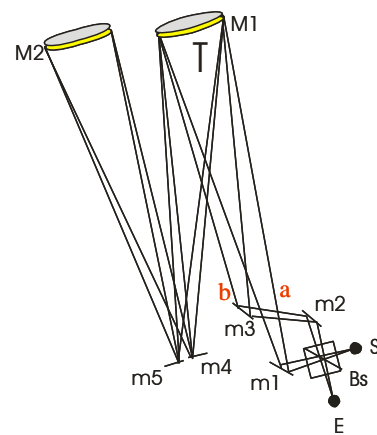
Mit der heutigen Technologie sollte es möglich sein, die Vibrationen zu beseitigen. Wenn die in 33b (oder 33c) skizzierte Anordnung gebaut wird, hat man nicht mehr ein Bild mit dem Spiegelbild, sondern ein einzelnes Bild, das mit einem ungestörten Bild interferiert. Auch hier stellt sich die Frage, was sich zeigen wird, wenn die Hand in den Lichtweg gebracht wird. Und was passiert, wenn man dieses Interferometer auf destruktive Interferenz einstellt?

In Aufbau 36a wurde ein zweiter Spiegel M2 hinzugefügt. Man erkennt hierin eine Ableitung von 33a. Wir haben nur die Laserlinien gezeigt. Zeichnung 36b zeigt den gleichen Aufbau, jetzt aber mit divergierenden und konvergierenden Strahlen. Wenn man einen Moment darüber nachdenkt, stellt man fest, dass eine Störung (Turbulenz T, z.B. die Hand im Lichtweg von M1) noch einmal durchlaufen wird, so dass sich die Störungen kumulieren und das Instrument doppelt so empfindlich wird. Die Spiegel m4 und m5 befinden sich in Wirklichkeit

nicht neben, sondern knapp über m_2 und m_3 , so dass die Parallaxe vernachlässigbar wird. Wir haben diese Anlage gebaut, aber sie nicht schwingungsfrei abgestimmt bekommen.

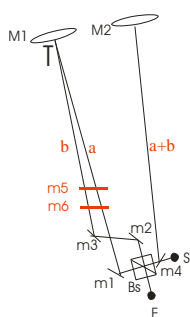


36a



36b

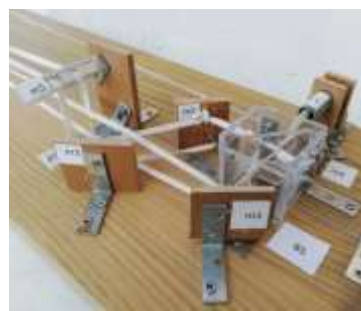
Zeichnung 37a schließlich zeigt eine Draufsicht auf eine Anordnung, die zu einer Interferenz von zwei Interferenzen führt. Die roten Spiegel m_5 und m_6 sollen anzeigen, dass es zwei Ebenen gibt. Die Abbildungen 37b bis 37d versuchen, all dies anhand einiger Fotos eines Modells zu verdeutlichen. Das Bild E1, das sich am unteren Rand von Bs (37d) zeigt, ergibt eine anfängliche Interferenz des Systems M1. Das Bild in E2, das sich in Bs knapp über E1 zeigt, nachdem das Licht das System M1, M2 und wieder M1 durchlaufen hat, gibt uns das Bild dieser doppelten Interferenz. Das Bild in E2 ist jedoch lichtschwächer als das Bild in E1, weil es auf seinem Lichtweg ein zweites Mal durch Bs hindurchging. Würden wir nicht in zwei Ebenen arbeiten, würden die Punkte E1 und E2 in Bs zusammenfallen, und das Bild von E2 würde von dem intensiveren Licht von E1 überschattet werden. Wir werden uns zu dieser Vereinbarung nicht weiter äußern. Wer sich ein wenig mit solchen Diagrammen auskennt und eine Weile darüber nachdenkt, wird sich sicher zurechtfinden. Wir haben dieses System auch gebaut, aber nicht feinabgestimmt.



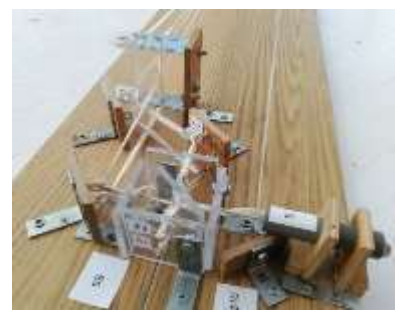
37a



37b



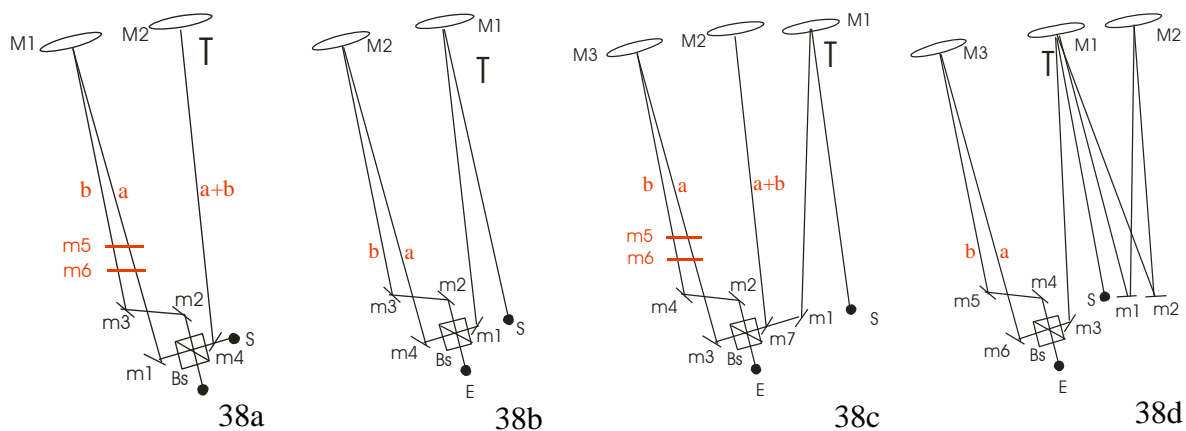
37c



37d

Wenn eine einzelne Interferenz bereits so viel Farbreichtum offenbart, wie sieht es dann mit der oben beschriebenen Interferenz von zwei Interferenzen aus? Wenn es gelingt, dieses System zu bauen, wird es ein unglaublich empfindliches Instrument sein, das uns vieles zeigen könnte, was dem normalen Auge sonst verborgen bleibt.

Und darüber hinaus kann man sich viele Variationen ausdenken. In den nachstehenden Diagrammen ist der Ort der Turbulenz T angegeben, an dem die Störung, z. B. die Hand, in den Lichtweg gebracht wird.



Schema 38a ist analog zu 37a, mit dem Unterschied, dass die Interferenz kurz vor M2 stattfindet. Ein ungestörtes Störbild (im System M1) wird im System M2 gestört und stört wiederum im System M1.

Schema 38b ist der abgeleitete Grundaufbau, mit gleichem Lichtweg. Da die Interferenz zuerst vor M1 stattfindet, gibt es keine Parallaxe n System M2 mehr.

Schema 38c ist von 37a abgeleitet, aber die Störung T findet außerhalb des eigentlichen Interferometers statt, so dass es auch hier keine Parallaxe mehr gibt.

Schema 38d ist analog zu Schema 38b, mit dem Unterschied, dass die Störung T eine zusätzliche Zeit durchlaufen wird, wodurch das Instrument doppelt empfindlich wird.

Man kann sich offenbar immer wieder neue Variationen ausdenken... Letztere überschreiten jedoch bei weitem die Grenzen dessen, was für einen Amateur möglich ist. Bei all unseren Basteleien haben wir mehr als einmal darüber nachgedacht, dass es bei der Interferenz von weißem Licht noch ein ganzes Feld für die Wissenschaft gibt, in dem es noch so viel zu entdecken gibt.

8. Zum Schluss.

Das M&M-Experiment veranlasste Einstein zu der Entscheidung, einen Äther, dessen Existenz nicht bewiesen werden kann, nicht in Betracht zu ziehen. Ist dies nach all unseren Experimenten wirklich das letzte Wort und die einzig mögliche Entscheidung? Wäre es eine zu kühne Hypothese, anzunehmen, dass mit einem sehr viel sorgfältiger durchgeführten M&M-Experiment und mit weißem Licht dennoch etwas von der Existenz einer feinen Substanz nachgewiesen werden könnte? Und wenn ja, wäre das nicht eine seltsame Wendung des Schicksals? Das gleiche Experiment liefert dann erst eine Verneinung und dann eine Bestätigung der ursprünglichen Annahme....

Im ersten Absatz unseres Textes, Teil I, heißt es: "Zu fast allen Zeiten und in fast allen nicht-westlichen Kulturen hört und liest man Zeugnisse von Menschen, die behaupten, dass wir nicht nur einen biologischen Körper haben, sondern auch eine Reihe von feinstofflichen Körpern, die zusammen die sogenannte Aura bilden. Diese soll sich in mehreren dünneren Schichten rund um den biologischen Körper befinden."

Obwohl sie nicht gleichmäßig verteilt ist, wie im M&M-Experiment angenommen, ist die Vorstellung von der Existenz einer feinen Substanz unserer gesamten Kulturgeschichte eigentümlich.

Mit diesem Text soll die Existenz oder Nichtexistenz der "feinen Materie" auf wissenschaftliche Weise erörtert werden. Jede Forschung zu diesem Thema von vornherein abzulehnen, würde nicht gerade von einer wissenschaftlichen Einstellung zeugen. Was ist falsch daran, eine Hypothese aufzustellen, sich ein Experiment auszudenken, um diese Hypothese zu untersuchen, das Experiment tatsächlich durchzuführen und sich mit den Ergebnissen abzufinden: Verifizierung oder Falsifizierung. Wir haben den Eindruck, dass wir dieser Methode in unseren Experimenten treu geblieben sind.

Möglicherweise widersprechen dabei einige der Ergebnisse einer gängigen Denkweise. Wollen wir die Realität durch die Brille unserer Vorurteile sehen? Oder wollen wir unsere Mentalität an das anpassen, was der Realität entspricht? Die Geschichte lehrt uns, dass es nicht schlecht ist, bei Urteilen, die der vorherrschenden Meinung zuwiderlaufen, dennoch Vorsicht walten zu lassen. Siehe z. B. J. Margolis, *Ces savants excommuniés*, und beschränken wir uns auf ein Beispiel aus der Übersetzung eines Artikels, der in der Sunday Times veröffentlicht wurde.

"L. Pasteur (1822/1895), der Begründer der Mikrobiologie, und A. Einstein (1879/1955), bekannt für seine Relativitätstheorie, wurden als "gefährliche Abweichler" abgetan, bevor ihre Theorie anerkannt wurde. Als der Erfinder Th. Edison (1847/1931) seine elektrische Glühbirne vorstellte, wurde er der "Mystifizierung" bezichtigt. Den Brüdern Wilbur (1867/1912) und Orville (1871/1948) Wright, die mit einem selbstgebauten Flugzeug zum ersten Mal in der Geschichte motorisiert flogen, wurde zwei Jahre lang nicht einmal geglaubt, "denn die Wissenschaft hatte festgestellt, dass eine Maschine, wenn sie mehr wiegt als Luft, unmöglich fliegen kann". Als der Geologe Alfred Wegener (1880/1930) die Theorie der 'Drift' von Festländern, also der Bewegung der Kontinente zueinander, vortrug, wurde er belächelt." So viel zu The Sunday Times.

Es sei hinzugefügt, dass G. Cantor (1845/1918), der Begründer der modernen Mengenlehre, das gleiche Schicksal erlitt und in einer Nervenheilanstalt starb, halb verrückt vor Unverständnis. Seine Arbeit ist heute weithin anerkannt und geschätzt. Kopernikus (1473/1543) ließ seine Erkenntnisse aus Angst vor Sanktionen erst am Ende seines Lebens veröffentlichen. Galilei (1564/1642) wurde 1633 verurteilt, weil er behauptete, die Sonne drehe sich um die Erde und nicht umgekehrt. Sein Ersuchen, seine Behauptungen in seinem Zuschauer zu überprüfen, wurde ignoriert. Erst 1978 (!) wurde er von den religiösen Autoritäten rehabilitiert. Wer sich ein wenig weiter informiert, kann solche Fehleinschätzungen ergänzen und wird feststellen, dass es nicht immer leicht ist, eine Meinung zu vertreten, die einer vorherrschenden Denkweise widerspricht.

Was uns bei all unseren Experimenten geleitet hat, ist die feste Überzeugung, dass es so etwas wie eine Aura und damit eine feine Substanz gibt. Wie bereits erwähnt, behaupten Sensitive, etwas von dieser Substanz zu spüren, Seher behaupten, sie zu sehen, und eine Reihe von Magiern behauptet zudem, sie manipulieren zu können, um damit z.B. Heilungen zu erzielen. Es wird nur allzu leicht vergessen, aber ein kritisch gebildeter Mensch findet neben den zahlreichen Missbräuchen auch eine verantwortungsvolle Verwendung. Eine Reihe von Krankheiten (Krebs, Ischias...) zeigen sich nach Ansicht derjenigen, die dies hellichtig

wahrnehmen können, als dunkler Fleck in der Aura, ein Fleck, der allmählich seine Auswirkung, seine pathogene Wirkung, im biologischen Körper fortsetzt.

Diejenigen, die darüber hinaus die energetische Kraftwirkung eines Gebetes als einen Strom von Myriaden feinsten Lichtpunkten mahnend wahrnehmen können, behaupten, dass es sich dabei um den Zustrom einer feinstofflichen Heilenergie handelt, die die dunklen, pathogenen Energien bedroht und - zumindest teilweise - vernichtet. Der Glaube, die tiefe Überzeugung, dass in diesen Hypothesen eine Realität steckt, könnte ein Grund dafür sein, die physikalische Forschung auf diesem weiten Gebiet nicht zu vernachlässigen. Überlassen wir es der fortschreitenden Wissenschaft und der Zeit, hier Klarheit zu schaffen.

Dürfen wir das alles mit dem Schlussabsatz aus unserem ersten Text abschließen? "Möglicherweise werden all unsere Experimente und Überlegungen weitere Forschungen auf einem höheren, professionellen Niveau anregen. Es bleibt die Frage: Was würde sich zeigen, wenn größere Teleskope, mit Spiegeln von z.B. 2 Metern Durchmesser oder mehr und mit einer unvergleichlich besseren Genauigkeit als unsere, den ganzen Menschen buchstäblich ins Rampenlicht stellen würden. Werden dann andere, möglicherweise noch nie dagewesene Perspektiven über uns Menschen ans Licht kommen - buchstäblich? Und wenn ja, wird eine solche Macht unsere Sicht auf uns selbst und auf das Leben bereichern, wissenschaftlich, philosophisch und religiös? Diese Fragen sind sicherlich nach wie vor äußerst faszinierend und faszinierend.

November 2022

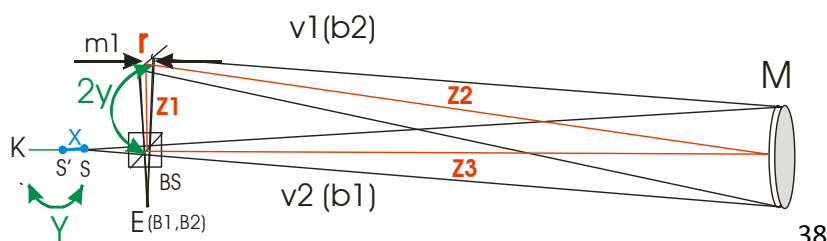
Referenzen

- 2a: <https://demonstrations.wolfram.com/MichelsonInterferometerWithEquallySpacedFringes/>
- 2b: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michelson-Morley_experiment_conducted_with_white_light.png
- 2c: https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson%E2%80%93Morley_experiment
- 2d: <https://sites.google.com/site/puenggphysics/home/Unit-II/newtons-ring>

Nach einem ersten Sondierungstext war dies der zweite Teil, der sich hauptsächlich mit dem M&M-Experiment befasste. In einem dritten Teil liegt der Schwerpunkt nicht so sehr auf dem wissenschaftlichen Inhalt, sondern wir werden mehr auf die philosophischen und religiösen Aspekte der Existenz oder Nichtexistenz von "Feinstaub" eingehen.

Schließlich: Wie angekündigt, geben wir im Folgenden die algebraische Ausarbeitung an, die zu der Formel führt: $x = \sqrt{y^2 + f^2} - f$

9. Die algebraische Ausarbeitung.



Wenn wir die punktförmige Lichtquelle in S' denken, versuchen wir, die beiden Objektabstände algebraisch zu definieren. Wir erhalten:

v1, die Objektentfernung im Uhrzeigersinn, ist gleich der Entfernung von S' zu S, dann zu B, m1 und M, oder: $v1 = 2*f - (y - x) + 2*y = 2*f + y + x$. (1)

v2, die Strecke gegen den Uhrzeigersinn, ist gleich der Strecke von S' nach S und weiter über B nach M oder: $v2 = 2*f - (y - x) = 2*f - y + x$ (2)

Über die Spiegelformel $1/f = 1/b + 1/v$ ergibt sich: $b = (v*f) / (v-f)$, so dass b1, die erste Bildentfernung, die zu v1 gehört und von M über B nach E führt, gleich ist

$$b1 = (2*f - y + x)*f / (2*f - y - x - f) \quad (3)$$

Für b2, die zweite Bilddistanz, die zu v2 gehört und von M über m1 und B nach E führt, finden wir:

$$b2 = (2*f + y + x)*f / (2*f + y + x - f) \quad (4)$$

Wenn wir nun auf der Zeichnung sehen, wo sich b1 befindet, stellen wir fest, dass der verfügbare Weg für b1 gleich v2 ist. Der Bildpunkt B1 (der Großbuchstabe zur Unterscheidung vom Kleinbuchstaben b1, dem Bildabstand) ist also b1 - v2 von E entfernt, oder:

$$B1 = b1 - v2$$

Wenn wir ganz analog sehen, wo sich b2 befindet, stellen wir fest, dass der verfügbare Weg gleich v1 ist. Der Punkt B2 wird also von E aus gesehen bei b2 - v1 liegen.

$$B2 = b2 - v1$$

Wir ermitteln den gegenseitigen Abstand D zwischen den beiden Bildpunkten B1 und B2, indem wir die Differenz zwischen den beiden letzteren Werten bilden. Wir bekommen:

$$D = B2 - B1 = (b2 - v1) - (b1 - v2) = (b2 - b1) - (v1 - v2) \quad (5)$$

Aus (1) und (2) ergibt sich:

$$(v1 - v2) = 2*f - y + x - 2*f - y - x = -2*y \quad (6)$$

Wir können also (5) wie folgt umschreiben: $D = (b2 - b1) + 2*y$ (7)

Setzen Sie nun in (7) für b2 und b1 die in (3) und (4) erhaltenen Werte ein:

$$D = ((2*f - y + x)*f / (f - y + x)) - ((2*f + y + x)*f / (f + y + x)) + 2*y$$

Jetzt arbeiten wir diese Gleichung weiter aus.

$$= (((2f^2 - fy + fx)*(f + y + x) - (2f^2 + fy + fx)*(f - y + x)) / ((f - y + x)*(f + y + x))) + 2y$$

$$= (2f^3 + 2f^2y + 2f^2x - f^2y^2 - fyx + f^2x + fyx + fx^2) / ((f + y + x)*(f - y + x)) -$$

$$(2f^3 - 2f^2y + 2f^2x + f^2y - fyx - f^2x - fyx + fx^2) / ((f + y + x)*(f - y - x)) - 2*y$$

$$\begin{aligned}
&= (2f^2y/(f+y+x)*(f-y-x)) - 2y \\
&= (2f^2y/(f^2-fy+fx+fy-y^2+yx+fx-yx+x^2)) - 2y \\
&= (2f^2y/(f^2+2fx+x^2-y^2)) - 2y \\
&\text{oder } D = (2f^2y/((f+x)^2 - y^2)) - 2y \quad (8)
\end{aligned}$$

Mit diesem letzten Ausdruck haben wir nun eine Formel, die uns sagt, in welchem Abstand die beiden Bildpunkte B1 und B2 in unserem Aufbau liegen, und zwar in Abhängigkeit von der Brennweite f unseres Spiegels M, vom Wert für y und von der radialen Verschiebung x unserer Punktlichtquelle.

In diesem Ausdruck ist x gleich 0, und wenn man weiter rechnet, erhält man:

$$D = (2f^2y/(f^2 - y^2)) - 2y \quad D = (2f^2y - 2y(f^2 - y^2)) / (f^2 - y^2)$$

$$D = (2f^2y - 2yf^2 + 2y^3) / (f^2 - y^2) \quad D = 2y^3/(f^2 - y^2)$$

Wir sehen also, dass der Wert von D sinkt, wenn der Wert von y sinkt und/oder der Wert von f steigt. Wenn wir also die Bildpunkte B1 und B2 bei x = 0 näher zusammenbringen wollen, müssen wir die Objektabstände v1 und v2 so ähnlich wie möglich machen und mit Spiegeln mit langen Brennpunkten arbeiten.

Wie wichtig ein kleiner D-Wert ist, wird im nächsten Abschnitt deutlich, in dem gezeigt wird, dass wir dann einen größeren mechanischen Spielraum bei der Anpassung unseres Aufbaus haben.

Die offensichtliche Frage ist nun, wann die beiden Bildpunkte wirklich zusammenfallen bzw. wann der Wert für D 0 wird. Wir berechnen dies als Funktion des Abstands x, denn dieser Wert lässt sich in einem Aufbau am einfachsten ändern, indem man die Lichtquelle nach vorne oder hinten bewegt. Ausgehend von der in (8) angegebenen Gleichung ergibt sich folgendes Bild:

$$D = (2f^2y / ((f+x)^2 - y^2)) - 2y, \text{ oder: } (2f^2y / ((f+x)^2 - y^2)) - 2y = 0$$

und weiter ausarbeiten:

$$2f^2y / ((f+x)^2 - y^2) = 2y, \text{ oder } (f+x)^2 - y^2 = 2f^2y/2y$$

$$(f+x)^2 = f^2 + y^2 \quad f + x = \text{sqr}(y^2 + f^2), \text{ oder}$$

$$x = (\text{sqr}(y^2 + f^2)) - f$$

Mit der letztgenannten Formel ergibt sich der gewünschte Nullwert für D in Abhängigkeit von x. Wenn x also die oben beschriebene Bedingung erfüllt, sollten die beiden Bildpunkte B1 und B2 praktisch zusammenfallen. Es ist jedoch zu beachten, dass wir nicht so sehr auf den Zufall abzielen. Denn wenn sie sich gegenseitig vollständig verdecken, gibt es keinerlei Interferenzen. Wir wollen prüfen, ob sie sich einander annähern können und was in diesem Sinne zu tun ist, in der Überzeugung, dass die Praxis eben doch kein exaktes Abbild dieser theoretischen Ergebnisse ist.