

Werk

Titel: Die Fizeausche Methode zur Bestimmung der Ausdehnung fester Körper und ihre Anwen...

Untertitel: [1. Teil]

Autor: Scheel , Karl

Ort: Braunschweig

Jahr: 1907

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0022 | LOG_0123

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte

über die

Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

XXII. Jahrg.

28. März 1907.

Nr. 13.

Die Fizeausche Methode zur Bestimmung der Ausdehnung fester Körper und ihre Anwendung zur Ermittlung anderer physikalischer Konstanten.

Von Prof. Karl Scheel.

(Originalmitteilung.)

1.

Zur Bestimmung der Wärmeausdehnung fester Körper stehen im wesentlichen drei Methoden zur Verfügung. Unter ihnen ist die Komparatormethode am übersichtlichsten, welche darin besteht, daß die Länge eines horizontal oder vertikal gelagerten Stabes bei verschiedenen Temperaturen mit einem zweiten verglichen wird, dessen Temperatur während der Vergleichung konstant bleibt. — Die zweite Methode, die Wägungsmethode, setzt die Kenntnis der kubischen Ausdehnung einer Flüssigkeit, meist des destillierten Wassers, als bekannt voraus. Die Wägung eines festen Körpers in dieser Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen ergibt die kubische Ausdehnung des Körpers relativ zu derjenigen der Flüssigkeit, woraus seine eigene zu berechnen ist.

Die dritte Methode, welche nach ihrem Urheber als Fizeausche Methode bezeichnet wird, knüpft an die Erscheinung der optischen Interferenz an. Wird eine Luftplatte von zwei nahezu parallelen spiegelnden Flächen begrenzt und das so gebildete System mit monochromatischem Licht beleuchtet, so entsteht das unter dem Namen der Newtonschen Ringe bekannte Phänomen. Ändert man nun die Dicke der Luftplatte dadurch, daß man den Abstand der spiegelnden Fläche verkleinert oder vergrößert, so tritt ein Wandern der Newtonschen Interferenzstreifen in einen oder anderen Sinne ein, in solchem Betrage, daß jeder Abstandsänderung um eine halbe Wellenlänge des benutzten Lichtes die Verschiebung des Streifensystems um eine Streifenbreite entspricht. Mißt man umgekehrt die Streifenverschiebung, so kann man daraus die Dickenänderung der Luftplatte berechnen.

Die Fizeausche Anordnung, welche die Ausnutzung dieser Erscheinung für Ausdehnungsmessungen bezweckte, bestand aus dem sog. Fizeauschen Tischchen, d. h. einer von drei nahe gleichlangen Stahlschrauben durchsetzten Stahlplatte, welche bei passender Stellung der Schrauben horizontal gerichtet war. Die Oberfläche der Platte war geschliffen und poliert. Ferner wurde über die senkrecht stehenden

Schrauben eine Glasplatte oder schwach konvexe Linse gelagert; die oben genannte Luftplatte war dann durch die Oberfläche der Stahlplatte und die Unterfläche der Glasplatte gegeben. Jede infolge von Temperaturveränderung eintretende Längenänderung der Schrauben verursachte also eine Dickenänderung der Luftplatte, welche durch Messung der Verschiebung des Interferenzstreifenbildes bestimmt wurde.

Nachdem auf solche Weise der Ausdehnungskoeffizient der Stahlschrauben einmal gefunden war, war es ein leichtes, die Ausdehnung anderer Körper, welche inmitten der Stahlschrauben auf dem Stahltischchen aufgebaut, oberflächlich plan geschliffen und bis zur Spiegelung poliert waren, relativ zum Stahl zu messen und daraus ihre absolute Ausdehnung abzuleiten. Bei diesen relativen Ausdehnungen wurde die Luftplatte durch die Oberfläche des zu untersuchenden Körpers einerseits, andererseits wieder durch die Unterfläche der Deckplatte gebildet. Durch Hinein- oder Herausdrehen der Stahlschrauben konnte man diese Luftplatte so dünn wie möglich machen, was zur Schärfe der Interferenzlinien wesentlich beitrug.

Mit dem von ihm angegebenen Apparate hat Fizeau selbst eine große Zahl von Ausdehnungen, namentlich von Kristallen und anderen solchen Körpern gemessen, welche nur in kleinen Stücken erhältlich waren, auf welche sich die Komparatormethode eben wegen ihrer Kleinheit nicht mehr anwenden ließ.

Die Versuche wurden später von Benoit im Bureau International des Poids et Mesures mit verbesserten Hilfsmitteln wieder aufgenommen. Insbesondere ersetzte Benoit das Stahltischchen, das wegen der thermischen Nachwirkung unzuverlässig war, durch ein ebensolches aus Platiniridium, jener Legierung aus 10 % Iridium auf 90 % Platin, die auch zur Herstellung der Urnormale des Meters und des Kilogramms und ihrer Kopien verwendet worden ist. Die von Benoit benutzte Decklinse war mit einer großen Zahl eingätzter Punkte versehen, welche als feste Marken bei der Beobachtung der Interferenzstreifen dienten. Indem man gleichzeitig eine größere Zahl dieser Marken benutzte, konnte man, trotzdem nur in einer Spektralfarbe, den Wellenlängen der gelben Natriumdoppellinie, beobachtet wurde, die Messungsgenauigkeit bedeutend erhöhen. Tatsächlich bilden auch die klassischen Untersuchungen Benoits einen wesentlichen Bestandteil unserer Kenntnisse von der Ausdehnung fester Körper.

Seit jener Zeit ist die Technik der Versuche nach der Fizeauschen Methode namentlich in zwei Punkten gefördert worden. Um den ersten dieser Punkte voll würdigen zu können, muß man bedenken, daß die einzelnen Interferenzstreifen, welche bei den Ausdehnungsversuchen durch das Gesichtsfeld wandern, in keiner Weise von einander unterschieden sind. Man ist darum gezwungen, die durchgewanderten Streifen direkt zu zählen, was meist sehr mühsam, oft aber auch überhaupt nicht ausführbar ist. In solchen Fällen ist ein von Abbe angegebenes Verfahren, statt einer Wellenlänge deren mehrere zu benutzen, mit großem Vorteil anwendbar. Die Dickenänderung der Luftplatte bei der Fizeauschen Anordnung ist nämlich, wie schon oben angedeutet, gegeben durch die Anzahl m der durch das Gesichtsfeld gewanderten Streifenintervalle, deren jedes einer Dickenänderung um eine halbe Wellenlänge entspricht. Multiplizieren wir also m mit der halben Wellenlänge $\lambda/2$, so drückt das Produkt $m \cdot \lambda/2$ die Dickenänderung in metrischem Maße, etwa in $\mu = 0,001$ mm aus, wenn auch λ in μ gegeben war. Die Größe $m \cdot \lambda/2$ ist somit unabhängig von der benutzten Wellenlänge; führt man daher die Messung in mehreren Wellenlängen gleichzeitig aus, so müssen alle so erhaltenen Produkte $m_1 \lambda_1/2$, $m_2 \lambda_2/2$ einander gleich sein.

Die Zahlen m sind im allgemeinen gebrochene Zahlen, d. h. sie geben mehrere ganze Streifenintervalle und einen Bruchteil derselben an. Trifft man nun Vorkehrungen, diesen überschießenden Bruchteil mit größerer Schärfe zu messen, und ist außerdem die Dickenänderung der Luftplatte, was fast stets der Fall ist, in grober Annäherung bekannt, so lassen sich mit Hilfe der Bedingung der Gleichheit der Produkte $m \cdot \lambda/2$ die ganzen durchgegangenen Streifenintervalle für jede benutzte Spektralfarbe rechnerisch erschließen.

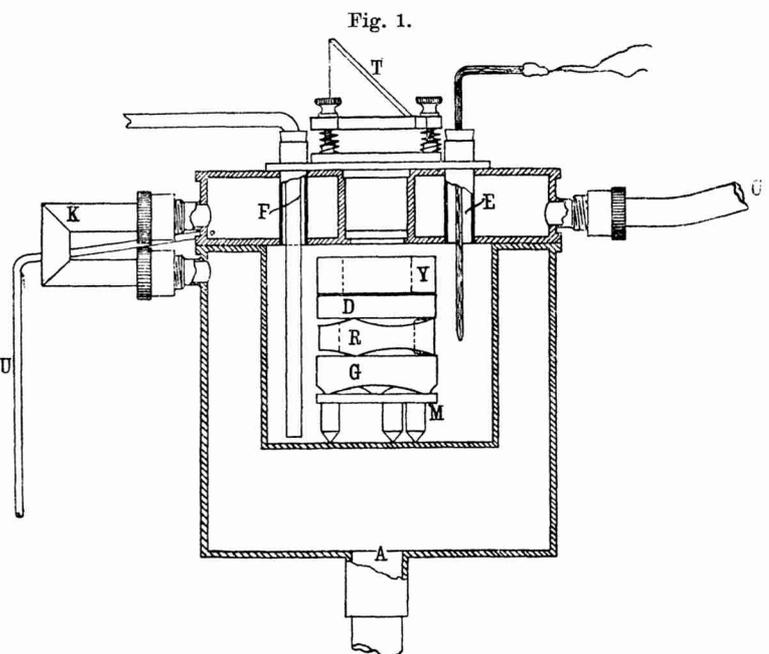
Die Idee Abbes ist von Pulfrich in einer im Jahre 1893 in der Zeitschrift für Instrumentenkunde veröffentlichten Mitteilung durch Konstruktion eines Beobachtungsrohres, das von der Firma Carl Zeiss in Jena gebaut wurde, in eleganter Weise verwirklicht. Als Lichtquelle diente dabei eine Wasserstoffspektralröhre, welche etwas Quecksilber enthielt, und welche somit die Wellenlängen der Wasserstoff- und Quecksilberlinien gleichzeitig lieferte.

Der zweite Punkt, in welchem die Technik der Fizeauschen Methode wesentlich verbessert wurde, betraf das Fizeausche Tischchen selbst. Es ist schon hervorgehoben, daß Benoit für die Ausführung seiner Versuche, um die thermische Nachwirkung zu vermeiden, das Fizeausche Stahltischchen durch ein ebensolches aus Platiniridium ersetzte. Aber auch dieser Anordnung haften noch manche Übelstände an, von denen nur die Inhomogenität des ganzen Aufbaues, nämlich die Herstellung des Tischchens aus Metall, die der Decklinse aus Glas, hervorgehoben werden mag.

Es ist das Verdienst Pulfrichs, dem Fizeau-

schen Tischchen eine wesentlich andere Gestalt gegeben zu haben. Er wählte als einheitliches Material Bergkristall und ließ die drei Einzelteile, nämlich die Grundplatte G (Fig. 1), die Deckplatte D und den die Dicke der Luftplatte zwischen der Oberfläche von G und der Unterfläche von D bestimmenden ringförmigen Körper R senkrecht zur optischen Achse des Bergkristalls schleifen. Der Ring R tritt hier somit an die Stelle der variablen Höhe der Schrauben; es war also jetzt nicht mehr möglich, bei relativen Messungen die Höhe der Schrauben nach der Höhe des Versuchskörpers einzustellen, sondern man mußte umgekehrt diesen der konstanten Höhe des Ringes anpassen. Hierin liegt scheinbar eine Unbequemlichkeit, die aber, verglichen mit den Vorteilen des Bergkristalls, nicht schwer wiegt.

Mit Einführung der Pulfrichschen Anordnung



tritt natürlich an Stelle der Hauptaufgabe der Bestimmung der Ausdehnung der Fizeauschen Schrauben die Bestimmung der Ausdehnung des Bergkristallringes, auf dem als Normalkörper ja alle ferneren Messungen basieren. Da, wie oben bemerkt, auch der Ring senkrecht zur Achse geschliffen war, so lieferte die Lösung der Aufgabe zugleich einen Wert für die Ausdehnung des Bergkristalls in Richtung seiner Achse, die auch in kristallographischer Hinsicht einiges Interesse bietet.

Über solche Ausdehnungsbestimmungen im Intervall zwischen Zimmertemperatur und 100° C habe ich vor einigen Jahren in den Wissenschaftlichen Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt berichtet, und es sei mir gestattet, hier kurz die damaligen Versuche zu skizzieren.

2.

Der zu meinen Versuchen benutzte Bergkristallring, der, um Auflagerungen unten wie oben auf nur

je drei kleinen Flächen zu ermöglichen, in der aus Fig. 1 ersichtlichen Weise ausgeschnitten ist, hat eine Höhe von 14,6 mm. Er ist sehr schwach keilförmig geschliffen, damit die ihn begrenzenden Flächen, die Oberfläche der Grundplatte und die Unterfläche der Deckplatte, den zum Zustandekommen der Newtonschen Interferenzstreifen nötigen kleinen Winkel miteinander bilden. Der äußere und innere Durchmesser des Quarzringes betragen rund 46 bzw. 30 mm. — Die kreisförmige Deckplatte hat eine Dicke von 9,5 und einen Durchmesser von 47 mm. Sie ist ebenfalls schwach keilförmig geschliffen, um das an ihrer oberen Fläche entstehende Spiegelbild aus dem Gesichtsfelde zu schaffen. An der unteren Fläche der Deckplatte befindet sich ein kleines Silberscheibchen von etwa $\frac{3}{4}$ mm Durchmesser, welches als feste Marke für die Verschiebung der Interferenzstreifen dient und dessen Lage zu den Streifen mikrometrisch bestimmt wird.

Das Erhitzungsgefäß, in welchem der Interferenzapparat aus Bergkristall auf einem kleinen Dreifuß *M* und belastet mit einem ringförmigen Gewichte *Y* zwecks Erhaltung auf konstanter Temperatur aufgebaut ist, ist in Fig. 1 skizziert. Es ist ein doppelwandiges, zylindrisches Gefäß mit doppeltem Boden und Deckel von insgesamt 13 cm Höhe und 14 cm Durchmesser. Die Heizung des Gefäßes geschieht durch Dampf, welcher durch eine Öffnung *A* in der Mitte des Gefäßes von unten eintritt, den zylindrischen Mantel des Gefäßes durchströmt und von da durch ein Knüstück *K* in den Deckel des Gefäßes eintritt. Aus diesem wird der Dampf durch den Stutzen *C* wieder abgeführt. Außer zwei zylindrischen etwa 1 cm weiten Röhren *E* und *F*, die zur Einführung eines Thermoelementes und zur Kommunikation des Innenraumes mit der äußeren Luft dienen, ist der Deckel nur noch in der Mitte durch eine etwa 2 cm weite zylindrische Röhre durchsetzt. Diese Öffnung, die oben und unten durch eng anschließende Glasplatten abgedeckt ist, ermöglicht auf dem Wege durch das total reflektierende Prisma *T* den Ein- und Austritt des Lichtstrahles zum Interferenzapparat.

Der Hohlraum des Erhitzungsgefäßes ist somit ein fast vollständig von Dampf umströmter Raum, für dessen Temperaturkonstanz bei genügend langer Dauer des Versuches alle Vorbedingungen gegeben waren. Tatsächlich ließen besonders angestellte Beobachtungen erkennen, daß eine Temperaturdifferenz im Hohlraum zwischen oben und unten nicht vorhanden war, auch betrug der durch Thermoelement bestimmte Temperaturabfall zwischen der Dampfherzeugungsstelle, wo die Temperatur absolut durch Quecksilberthermometer gemessen wurde, und dem geheizten Hohlraum stets nur wenige Hundertstel Grade.

Die Entwicklung des Dampfes geschah in zylindrischen, durch eine Umpackung gegen Wärmeverluste geschützten Metallgefäßen, denen der Dampf nach Austritt aus dem Erhitzungsgefäß durch einen Rückflußkühler wieder zugeführt wurde. Trotz der stets geringen Flüssigkeitsmenge konnte daher die Erhitzung ohne jede Unterbrechung während der

Dauer eines Versuches — sechs Stunden und mehr — aufrecht erhalten werden.

Um auf bequeme Weise von einer Dampftemperatur auf eine andere übergehen zu können, vor allen Dingen aber, um bei einem solchen Übergang eine Erschütterung des ganzen Aufbaues nach Möglichkeit zu vermeiden, sind zwei Dampfentwicklungsgefäße mit Rückflußkühler vorgesehen, von denen nach Belieben das eine oder das andere nach Umlegen von Dreiweghähnen mit dem Erhitzungsgefäße verbunden werden konnte. Allerdings vollzog sich dieser Übergang nicht ganz so einfach, wie es auf den ersten Blick erscheint. Denn die von einer Siedeperiode verbliebenen Flüssigkeitsreste genügten, um den Siedepunkt der zweiten Flüssigkeit in einer die Beobachtungen störenden Weise inkonstant zu machen. Es erwies sich darum als nötig, beim Übergange auf eine neue Flüssigkeit die Spuren der zuvor benutzten Flüssigkeit durch den Dampf der zweiten auszuwaschen. Zur schnelleren Erreichung dieses Zieles konnte durch ein Röhrchen *U* (Fig. 1), das unter Quecksilberverschluß stand, aus dem Deckel des Erhitzungsgefäßes, wo sich der überwiegend größte Flüssigkeitssack bildete, Kondensflüssigkeit abgezapft werden.

Die Verschiebung des Interferenzstreifensystems ist außer von der geometrischen Änderung des von den spiegelnden Flächen eingeschlossenen Gasraumes auch von dessen optischer Beschaffenheit abhängig, welche sich mit der Temperatur und dem Drucke ändert. Bezeichnet man die Brechungsexponenten der Luft in den beiden Zuständen mit n_2 und n_1 , so tritt aus diesem Anlaß zu der gemessenen Streifenverschiebung eine Korrektur von dem absoluten Betrage $k = \frac{2h}{\lambda}(n_2 - n_1)$, wo h die Dicke der Luftplatte, also die Höhe des Quarzringes bedeutet. Bei Versuchen zwischen Zimmertemperatur und 100° ist der Wert dieser Korrektur noch verhältnismäßig klein, so daß sich mit genügender Genauigkeit n_2 und n_1 auf Grund des sog. Gesetzes vom konstanten Refraktionsvermögens $\frac{n-1}{d} = \text{const}$ ableiten lassen, wo d die mit Hilfe des Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetzes zu berechnende Dichte der Luft bedeutet.

Außer bei Zimmertemperatur und 100° wurden noch Versuche beim Siedepunkte des Acetons ($56-57^\circ$) angestellt. Sie erstrecken sich einmal auf die Bestimmung der absoluten Ausdehnung des Bergkristallringes, sodann auf relative Beobachtungen an Zylindern aus Platin, Palladium, Porzellan, Jenaer Glas 59^m und Quarzglas, jenem Material, welches zufolge seiner so geringen Ausdehnung in neuerer Zeit große Bedeutung gewonnen hat.

Es kann hier jedoch nicht der Ort sein, auf die ziffermäßigen Ergebnisse der Untersuchungen einzugehen; diese mögen an anderer Stelle nachgelesen werden. Soweit die Zahlen prinzipielles Interesse haben, werde ich später noch darauf eingehen.

(Forts. folgt.)