

# Über die bei den neueren Wiederholungen des Michelson-Experimentes erreichten Genauigkeiten

Autor(en): **Piccard, A. / Stahel, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **1 (1928)**

Heft V

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-109177>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Über die bei den neueren Wiederholungen des Michelson-Experimentes erreichten Genauigkeiten

von A. Piccard und E. Stahel.

(25. VI. 28.)

*Zusammenfassung.* Es wird die Genauigkeit der verschiedenen Varianten des MICHELSON'schen Experimentes diskutiert und ihre Zweckmässigkeit erörtert. Die von den verschiedenen Autoren erzielten Resultate werden angegeben und eine Erklärung der von allen übrigen abweichenden Resultaten MILLERS angedeutet.

Die von MILLER in den Jahren 1922/25 ausgeführten Messungen in Cleveland und auf dem Mont Wilson zur Bestimmung des „Ätherwindes“ haben die Wiederholung des MICHELSON'schen Experimentes auch an andern Orten veranlasst.

Ende 1926 publizierte KENNEDY<sup>1)</sup> eine Abänderung der Beobachtungsart zur Steigerung der Genauigkeit, mittelst welcher ELLINGWORTH<sup>2)</sup> (November 1927) neue Messungen ausgeführt hat.

Die Schreiber dieser Zeilen haben im Juni 1926 das MICHELSON-Experiment im Freiballon, im November 1926 in Brüssel und im September 1927 auf dem Rigi<sup>3)</sup> wiederholt.

Es gibt also drei unabhängige Messerien auf ungefähr Meeresniveau (MILLER, KENNEDY-ELLINGWORTH, PICCARD und STAHEL) und zwei Messerien ca. 1800 m ü. M. (MILLER, Mont Wilson; PICCARD und STAHEL, Rigi). Die Messungen im Freiballon scheiden für diese Untersuchungen aus, weil die thermische Unstabilität nicht gestattete, die volle Genauigkeit des Apparates auszunützen.

Wir möchten im folgenden einen kritischen Vergleich der Arbeitsmethoden und der relativen Genauigkeit der verschiedenen Messungen geben.

1. MILLER. Optischer Weg 65 m. Visuelle Beobachtung der Streifenverschiebung mit weissem oder gelbem Licht. Verwendete Wellenlänge  $0,589 \mu$ . Die Ablesegenauigkeit wird von MILLER selbst<sup>4)</sup> als zu  $\frac{1}{10}$  Fransendistanz angegeben.

<sup>1)</sup> KENNEDY, Proc. of the Nat. Ac. of Sc. **12**, 621, 1926.

<sup>2)</sup> ELLINGWORTH, Phys. Rev. **30**, 692, 1927.

<sup>3)</sup> PICCARD und STAHEL, C. R. **183**, 420, 1926; **184**, 451, 1927; **185**, 1198, 1927. — J. de Phys. **9**, 49, 1928. — Naturwissenschaften **14**, 111, 1926; **15**, 140, 1927; **16**, 25, 1928.

<sup>4)</sup> MILLER, Science **63**, 433, 1926.

2. KENNEDY-ELLINGWORTH. Optischer Weg 4 m. Verwendete Wellenlänge  $0,546 \mu$ . Es wird eine sehr elegante Abänderung der Beobachtungsweise vorgenommen<sup>1)</sup>. Statt die Streifenverschiebung direkt zu bestimmen, wird die Messung zu einer Nullmethode umgewandelt, indem man zwei Zonen auf gleiche Helligkeit einstellt. Dies geschieht auf folgende Weise: Die Streifen werden relativ breit gemacht, d. h. die beiden letzten Spiegel sind nahezu parallel. Die eine Hälfte des einen Spiegels ist mit einer zusätzlichen Silberschicht versehen, deren Dicke  $\frac{1}{20} \lambda$  beträgt. Die Streifen sind parallel der Trennungslinie der beiden Gesichtshälften; die Fransensysteme der beiden Hälften sind also relativ zueinander um  $\frac{1}{10}$  eines Streifenintervalls verschoben. Die Intensität der Fransenhelligkeit macht also an der

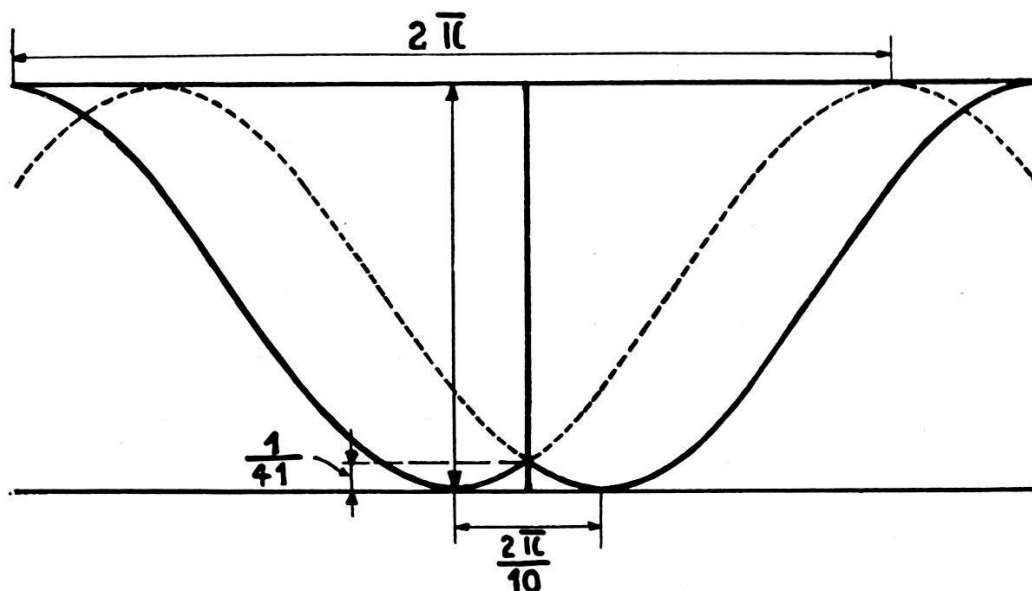


Fig. 1. Intensitätsverteilung des Interferenzbildes in den beiden Gesichtshälften bei der Anordnung nach Kennedy-Ellingworth.

Trennungslinie der beiden Gesichtshälften einen Sprung, der einer Verschiebung der Fransen um  $\frac{1}{10}$  ihrer Distanz entspricht. Das Beobachtungsfernrohr wird auf die Trennungslinie eingestellt. Das Gesichtsfeld ist so klein, dass jede der beiden Gesichtshälften eine homogene Beleuchtung hat. Ihre Intensitäten sind im allgemeinen verschieden; sie entsprechen ja, wie oben auseinandergesetzt, einer Verschiebung der Fransensysteme um  $\frac{1}{10}$  Fransendistanz. Es gibt aber zwei Stellungen, eine relativ helle und eine relativ dunkle, für welche die beiden Gesichtshälften

<sup>1)</sup> KENNEDY gibt an, diese Methode einem ihm unbekanntem Autoren zu verdanken. Laut mündlicher Mitteilung ist die Methode zuerst von COTTON beschrieben worden.

Systeme symmetrisch zu der Trennungsfläche sind (siehe Fig. 1). gleiche Intensität aufweisen, diejenigen nämlich, bei denen beide Wie im Halbschattenpolarimeter wird nur die dunklere Stellung verwendet. Die Regulierung auf gleiche Helligkeit wird durch Änderung des optischen Weges des einen Armes durch Auflegen von Gewichten auf die die Spiegel tragende Grundplatte bewerkstelligt. Die Empfindlichkeit der Optik konnte so weit gesteigert werden, dass eine Veränderung des optischen Weges um  $\frac{1}{500} \lambda$  bemerkt werden konnte.

3. PICCARD und STAHEL. Lichtweg 280 cm. Photographische Registrierung der Streifen. Verwendete Wellenlänge  $0,436 \mu$ . Der Film wird auf der Teilmaschine ausgemessen mit einer Messgenauigkeit der Einzeleinstellung von  $\frac{1}{150}$  Fransendistanz.

Nachstehende Tabelle fasst das Gesagte zusammen. Sie enthält ausserdem die von den verschiedenen Autoren gefundenen Effekte, sowie die mittleren Fehler, mit denen das Resultat gewährleistet wird. Ferner wurden noch zum Vergleich die mit der Drehkondensatormethode nach TROUTON-NABLE von TOMASCHECK und CHASE gefundenen Messresultate mitaufgenommen.

Beobachter	Ort	Jahr	Lichtweg im Interferometer	Wellenlänge in $\mu$	Messgenauigkeit einer Ablesung		Resultat		
					i. Streifen-distanz	i. Ätherwind km/sec	beobachtet	Fehlergrenze	Ange-nomm. Wert
Miller	Mont Wilson	1922/25	65 m	0,589	$\frac{1}{10}$	9,0	10 km/sec	$\sim 1$ km/sec	10 km/sec
„	Cleveland								
Piccard und Stahel	Brüssel	1926	2,80 m	0,436	$\frac{1}{150}$	9,6	1,7 „	4,0 „	0
	Rigi (1800 m)	1927					1,5 „	2,5 „	0
Kennedy-Ellingworth	Kalifornien	1927	4,0 m	0,546	$\sim \frac{1}{500}$	5,0	—	1 „	0
Tomascheck	Jungfraujoeh	1925	Drehkondensatormethode				—	$< 3,0$	0
Chase	Amerika	1926					—	$< 4,0$	0

Aus dem Vergleich der obigen Zahlen ergibt sich folgendes:

Die Empfindlichkeit der Apparaturen von MILLER einerseits, PICCARD und STAHEL andererseits, ist ungefähr dieselbe. Die Messanordnung von ELLINGWORTH ist etwa 1,9 mal empfindlicher in bezug auf den „Ätherwind“<sup>1)</sup>.

Alle Autoren erreichen durch Häufung der Messungen, d. h. durch Elimination der zufälligen Messfehler, eine Genauigkeit im Resultat, die grösser ist, als die relative Genauigkeit der Einzel-

<sup>1)</sup> Wir werden in einem Anhang die Frage diskutieren, welches die Gründe der gesteigerten Genauigkeit sind.

messungen, weil, wenn *systematische Fehler* vermieden werden, man durch Häufung der Messungen eine Genauigkeit erzielt, die nach dem GAUSS'schen Fehlergesetz, mit der Quadratwurzel der Zahl der Messungen zunimmt. Wir haben übrigens für unsere Apparatur den direkten Beweis erbracht, dass dieses Prinzip hier angewendet werden kann, indem ein „künstlicher Miller-effekt“, hervorgerufen durch messbare Verschiebung einer der Spiegel, sich in der Filmanalyse richtig herausstellte (siehe J. de Ph. 9, S. 57, 1928).

Was die Resultate der Messungen anbetrifft, so scheint uns bewiesen zu sein, dass ein „Ätherwind“ sich weder auf Meereshöhe noch 1800 m ü. M. bemerkbar macht. (Sogar die weniger genauen Versuche im rotierenden Freiballon haben Streifenverschiebungen ergeben, die, innerhalb der Fehlergrenzen liegend, nur einem Ätherwind von 7 km/sec entsprechen, woraus geschlossen wurde, dass auch in der freien Atmosphäre eine Zunahme des Ätherwindes mit der Höhe nicht zur Wahrnehmung gelangte.)

Zu untersuchen bleibt noch, welches die Gründe sind, die MILLER zu seinem abweichenden Resultat geführt haben können.

A priori könnte man an verschiedene instrumentelle systematische Fehler denken, hervorgerufen durch Einwirkung von Erdmagnetismus, Temperaturinhomogenitäten, Sonnenbestrahlung oder Windeinflüssen. MILLER schliesst aber an Hand sorgfältiger Versuche alle diese Fehlerquellen aus (Neukonstruktion des Gerüsts, Variation der thermischen Isolation usw.). Zu erwägen wäre aber die Möglichkeit eines „psychologischen“ Fehlers. In dieser Beziehung ist nämlich der MILLER'sche Apparat der gefährlichste. In der Tat schätzt der Beobachter bei dieser Messanordnung direkt die relative Stellung des Fadenkreuzes zum Interferenzbilde ab. Diese Abschätzung kann nach MILLER nicht genauer erfolgen als  $\frac{1}{10}$  Fransendistanz. Der von MILLER beobachtete Effekt macht nun aber im Maximum 1,2 Zehntel aus. Wenn man sich nun vorstellt, dass der Beobachter in einem dunkeln Raum um den Apparat herumlaufen und nach jeder Viertelumdrehung zur Ablesung rasch durch das mitbewegte Okular blicken muss, ohne es zu berühren, wenn der Beobachter ferner immer weiss, in welchem Azimut der Effekt erwartet wird, so scheint ein systematischer Ablesefehler der genannten Grössenordnung gar nicht ausgeschlossen.

In dieser Hinsicht sind die anderen Apparate viel sicherer. Bei KENNEDY-ELLINGWORTH können die Gewichte in Form einer Kette zugelegt oder abgehoben werden, ohne dass der Beobachter die Zahl der benützten Gewichte kennt.

Bei unserer Versuchsanordnung wird bei der Ausmessung mit der Teilmaschine die Einstellung auf den weissen Streifen gemacht, ohne dass der Messende die Stellung der Mikrometerschraube kennen kann. Die Ablesung der Teiltrommel erfolgt erst nach der Einstellung mit einer Genauigkeit, welche die der Einstellung um eine Zehnerpotenz übertrifft. Ein besonderer Vorteil dieser Methode liegt noch darin, dass der Beobachter während der Messung den zugehörigen Azimut nicht kennt.

Wir wollen nun noch überlegen, ob die Methode von KENNEDY-ELLINGWORTH prinzipiell der Methode der photographischen Registrierung der Streifen überlegen ist. Wir werden sehen, dass beide Methoden dieselbe Genauigkeit liefern, vorausgesetzt, dass beide Apparate gleichwertige Optik besitzen.

Die Intensitätsverteilung im Interferenzbilde kann in der Form geschrieben werden

$$J = \frac{1 - \cos \alpha}{2},$$

wobei die maximale Lichtstärke gleich 1 gesetzt wird. Einer Verschiebung des letzten Spiegels um  $\frac{\lambda}{2}$  entspricht eine Änderung von  $\alpha$  um  $2\pi$ , eine Verschiebung von  $\frac{\lambda}{20}$  (Dicke der zusätzlichen Silberschicht) entspricht also einer Änderung von  $\alpha$  um  $\frac{2\pi}{20}$ . Wenn beide Gesichtshälften gleiche Intensität haben, also für die eine  $\alpha = -\frac{2\pi}{20}$ , für die andere  $\alpha = +\frac{2\pi}{20}$  ist, so hat dieselbe den Wert

$$I = \frac{1 - \cos 18^\circ}{2} = \frac{1}{41}.$$

Die von KENNEDY-ELLINGWORTH erzielte Genauigkeit setzt, wie eine einfache Rechnung zeigt, voraus, dass man unter diesen Umständen relative Helligkeitsunterschiede von  $\frac{1}{6}$  gerade noch wahrnehmen kann, d. h. dass man die beiden Gesichtshälften als verschieden hell empfindet, wenn, von der Gleichheit ausgehend, die eine um  $\frac{1}{12}$  zu, die andere um  $\frac{1}{12}$  ihrer Helligkeit abgenommen hat. Da ihre Intensität, wie oben gezeigt,  $\frac{1}{41}$  der maximalen ausmacht, so entspricht diese Änderung einerseits  $\frac{1}{490}$  der Maximalhelligkeit und andererseits einer Verschiebung der Streifen um  $\frac{1}{500}$  ihrer Distanz.

Betrachten wir nun die photographische Registrierung der Fransen. Nehmen wir, wie im vorigen Falle, die Genauigkeit der Spiegel genügend gross an, dass die Stellen im Interferenzbild, an



welchen  $\frac{1}{500}$  der Maximalintensität herrscht, noch definiert sind als parallele Linien zur Streifenmitte. Mit genügend starken Lichtquellen kann mit dieser Intensität noch eine deutliche Schwärzung des Films erzeugt werden. Das Minimum der Intensität befindet sich als weisses Band zwischen ihnen. Eine einfache Rechnung zeigt, dass der Abstand der Zonen, die eine Helligkeit von  $\frac{1}{500}$  haben, symmetrisch zum Minimum der Intensität,  $\frac{2\pi}{70}$  ist, das weisse Band der minimalen Intensität hat also eine Breite von  $\frac{1}{70}$  Streifendistanz. Auf dieses weisse Band wird mit der Teilmaschine eingestellt und wenn wir eine Einstellgenauigkeit von nur  $\frac{1}{7}$  annehmen, so ergibt sich ein möglicher Fehler von  $\frac{1}{490}$  Streifendistanz, also derselbe Wert wie bei ELLINGWORTH. Die Rechnung ist hier nicht mit der gleichen Genauigkeit durchführbar, wie bei der ersten Methode, weil eine gewisse Willkür in der Angabe der Einstellgenauigkeit auf die weisse Linie liegt. Wir glauben aber, mit obiger Annahme sicher nicht zu hoch gegriffen zu haben. Ganz anders fällt der Vergleich der beiden Apparatentypen aber aus, wenn statt der photographischen Registrierung die visuelle Beobachtung der Streifen erfolgt. Dann erweist sich die Methode CATTON-KENNEDY-ELLINGWORTH der direkten Streifenbeobachtung überlegen. Bei visueller Beobachtung erscheinen nämlich die dunkeln Streifen auch bei günstigster Beleuchtung immer relativ breit, weil die geringen Lichtstärken in der Umgebung des Minimums neben den grossen Intensitäten des Maximums nicht wahrgenommen werden können, ganz im Gegensatz zu der photographischen Registriermethode.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich ferner, dass bei vollkommener Optik und bei genügender Lichtstärke unbegrenzte Genauigkeit erzielt werden könnte, sowohl nach der Methode von CATTON-KENNEDY, wie nach der photographischen Registriermethode, im Gegensatz zur klassischen visuellen Beobachtung. Nach der photographischen Methode nämlich würde das weisse Minimum bei unbeschränkt zunehmender Lichtstärke sich auf einen immer feiner werdenden Strich reduzieren bei beliebigem Streifenabstand. Bei CATTON-KENNEDY würde bei zunehmender Intensität der Lichtquelle und gleicher Intensität der Beobachtungsfelder die Dicke der zusätzlichen Silberschicht und gleichzeitig damit der Ablesefehler, ausgedrückt in Fransendistanzen, unbeschränkt abnehmen können, gerade wie beim Halbschattenpolarimeter. Dass wir in unserem Interferometer trotzdem nicht dieselbe Genauigkeit erreichten wie KENNEDY-ELLINGWORTH, hat seinen Grund darin, dass unsere Optik (Spiegel) mangelhafter war. Wenn

wir, was technisch durchaus möglich gewesen wäre, so grosse Lichtstärken verwendet hätten, dass  $\frac{1}{500}$  der Maximalintensität noch eine deutliche Schwärzung des Films hervorgerufen hätte, so wären auch die Stellen des Minimums der Intensität nicht weiss geblieben, weil die Fehler der Spiegel zu einer Verschleierung der Bilder führen. Man hätte zwar die Optik verbessern können, doch wäre das für unsere Zwecke ziemlich zwecklos gewesen. Unser Apparat musste transportierbar sein, er sollte im Ballon und auf Bergeshöhe in mehr oder weniger improvisierten Unterständen dienen. Dadurch wurden aber die thermischen Störungen so gross, dass die gesteigerte Ablesegenauigkeit doch wieder verloren gegangen wäre.

Nebenbei sei noch erwähnt, dass die photographische Registrierung eine viel grössere Umlaufgeschwindigkeit des Apparates zulässt. In seinen klassischen Versuchen wählte MICHELSON vier Minuten pro Umdrehung, ELLINGWORTH braucht dazu deren zwei. Wir registrieren dagegen eine Umdrehung in 12—20 Sekunden. Das bedeutet einen doppelten Vorteil, erstens wirken alle thermischen Schwankungen viel weniger (wodurch erst die Verwendung im Ballon und in der Dachkammer des Hotels Rigi-Kulm möglich war) und zweitens können so in gegebener Zeit bedeutend mehr Aufnahmen gemacht werden, wodurch die Genauigkeit gesteigert werden kann; dies war besonders im Ballon wichtig.

Universität Brüssel, Juni 1928.

---